РОССИЙСКАЯ
АКАДЕМИЯ НАУК

МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ
ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ
СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

ВСЕРОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ (ВИНИТИ)

ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Научный информационный сборник

Издается с 1990 г. **№ 1** **Москва 2019**

Сборник включен в Перечень ведущих научных изданий ВАК Минобрнауки РФ, публикующих статьи по материалам выполняемых научных исследований, в т.ч. на соискание ученой степени кандидатов и докторов наук.

Полнотекстовую электронную версию с отставанием на один год можно посмотреть на сайте ВИНИТИ РАН http://www.viniti.ru

Библиографии, аннотации и ключевые слова на русском и английском языках размещены на сайте Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU

СОДЕРЖАНИЕ

Научно-теоретические и инженерно-технические разработки

Махутов Н.А., Иванов В.И., Васильев И.Е., Чернов Д.В. Моделирование опасных неустойчивых состояний при формировании насыпного конуса стеклогранулята 3

Дурнев Р.А., Крюков К.Ю., Титов А.Е., Жданенко И.В. Искусственный интеллект: проблемы, перспективы, риски 21

Попов Ю.В., Уваров И.А., Клочков Д.В. Математическое моделирование рулевого привода по информации, зарегистрированной бортовым устройством регистрации при расследовании авиационных происшествиях 33

Борисова Л.Р., Подрезов Ю.В. Выбор модели для прогнозирования пожарной обстановки в Российской Федерации 55

Швецова С.В., Швецов А.В. Применение беспилотных летательных аппаратов для обеспечения транспортной безопасности на высокоскоростных железнодорожных магистралях 60

Подрезов Ю.В. Особенности возникновения и развития грозовых и градовых процессов в атмосфере земли 67

Жданова А.О., Войтков И.С., Шлегель Н.Е., Кузнецов Г.В., Хасанов И.Р. Сравнение необходимых объемов воды и времен локализации распространения фронта горения модельных низовых и степных пожаров с применением заградительной полосы 72

Защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций

Курличенко И.В., Глебов В.Ю., Руденко А.В. Основные положения, которые необходимо учитывать при разработке технического проекта комплексной маскировки объектов организации и автоматизированной системы, обеспечивающей централизованное управление её элементами 82

© ВИНИТИ, 2019

Седнев В.А., Лопухова Н.В. Об организации тушения пожаров на территории сельских населенных пунктов 87
Назаренко Е.К. О применении чек - листов при проверках в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций 93
Хомяков О.В., Бортник М.А. О планировании и подготовке сил и средств функциональных и территориальных подсистем к сезонному повышению уровня воды на реках Вологодской области для обеспечения жизнедеятельности населения и устойчивого функционирования органов государственного управления в условиях весеннего половодья 99
Тимофеев В.К., Хирамагомедов М.М., Сергиенко И.М. Анализ нормативно-правового обеспечения безопасности рыбопромысловых судов при работе на промысле в пиратоопасных районах при чрезвычайной ситуации связанной с нападением пиратов 109

Contents

Makhutov N.A., Ivanov V.I., Vasil'ev I.E., Chernov D.V. Modeling of the unstable dangerous states under formation of a cone granulated glass 3
Durnev R., Kryukov K., Titov A., Zhdanenko I. Artificial intelligence: problems, prospects, risks 21
Popov Y.V., Uvarov I.A., Scraps D.V. Mathematical modeling steering drive under information, zaregistrirovnnoj onboard device registration at investigation aviacionnnyh incidents 33
Borisova L.R., Podrezov J.V. The choice of the model to predict the fire situation in the Russian Federation 55
Shvetsova S.V., Shvetsov A.V. Application of unmanned aerial vehicles for ensuring transportation security on railway high speed systems 60
Podrezov J.V. Features of occurrence and development of thunderstorms and hail processes in the earth's atmosphere 67
Zhdanova A.O., Voytkov I.S., Schlegel N.E., Kuznetsov G.V., Khasanov I.R. Comparison of the required volumes of water and the localization times of the propagation of the combustion front of model grass-roots and steppe fires with the use obstructive water strip 72
Kurlichenko I.V., Glebov V.J., ***Rudenko A.V.*** The main provisions that must be taken into account when developing a technical project for the complex masking of the organization's facilities and an automated system that provides for the centralized management of its elements 82
Sednev V.A., Lopuhova N.V. On the organization of firefighting on the territory of rural settlements 87
Nazarenko E.K. On the use of checklists for inspections in the field of protection of the population and territories from emergency situations 93
Khomyakov O.V., Bortnik M.A. About planning and preparation of forces and means of functional and territorial subsystems seasonal increase of water level on the rivers of the Vologda region for ensuring activity of the population and sustainable functioning of public administration system in the conditions of the spring flood 99
Timofeev V.K., Khiramagomedov M.M., Sergienko I.M. Analysis of regulatory and legal security of fishing vessels when working in the fishery in the pirate-dangerous areas during an emergency situation related to the attack of pirates 109

Научный редактор – заслуженный деятель науки и техники РФ,
доктор технических наук, профессор Резер С.М.
Выпускающий редактор: Тимошенко З.В.
Адрес редакции: ВИНИТИ: 125190, Россия, г. Москва, ул. Усиевича,20.
Тел.: (499) 155-44-26
Факс: (495) 943-00-60, **E-mail:** tranbez@viniti.ru
Адрес сайта: www2.viniti.ru
Отдел подписки: Тел: (499) 155-44-89, (499) 155-42-85, (499) 155-78-61

УДК 620.179.16:620.179.143

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПАСНЫХ НЕУСТОЙЧИВЫХ СОСТОЯНИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ НАСЫПНОГО КОНУСА СТЕКЛОГРАНУЛЯТА

Член-корреспондент РАН *Н.А. Махутов*
ООО «НИИ Транснефть»

Доктор техн. наук *В.И. Иванов*
ЗАО «НИИИН МНПО Спектр»

кандидат техн. наук *И.Е. Васильев, Д.В. Чернов*
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН)

Исследования направлены на моделирование динамических неустойчивых переходных процессов, возникающих, например, при внешних воздействиях и повреждениях в сложных объектах и конструкциях. Спектральные характеристики сигналов, регистрируемых в ходе акустико-эмиссионного мониторинга, позволяют идентифицировать точки бифуркации при переходе от накопления рассеянных повреждений на начальной стадии деградации, к появлению зародышевых микроповреждений, их стабильному развитию, объединению в макроповреждения и переходу на стадию устойчивого нарастания, достижения критического состояния, и перехода на стадию последующего лавинообразного разрушения. Эксперименты проводились на имитационной физической модели насыпного конуса стеклогранулята, позволяющей с применением акустико-эмиссионного мониторинга, синхронизированного с высокоскоростной видеосъемкой, осуществлять временное стробирование стохастического процессов накопления и обрушения слоев стеклогранулята на этапах формирования конуса.

Ключевые слова: стеклогранулят, насыпной конус, моделирование повреждений, акустическая эмиссия, импульс АЭ, критериальные параметры, дескрипторы, активность, осциллограмма, спектр.

MODELING OF THE UNSTABLE DANGEROUS STATES UNDER FORMATION OF A CONE GRANULATED GLASS

Corresponding Member of the RAS *N.A. Makhutov*
Pipeline Transport Institute, LLC (Transneft R&D, LLC),

Doctor (Tech.) *V.I. Ivanov*
Research Institute of introscopy of scientific and production Association SPECTRUM, CJSC

Ph.D. (Tech) *I.E. Vasil'ev, D.V. Chernov*
Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences,

The aim of the study is modeling of the dynamic transition unstable processes, for example, arising under external impacts and damages in the complex objects and structures of the sys-

tems. The spectral characteristics of the signals, which are registering by means the monitoring of the acoustic emission, give an opportunity to identify the bifurcation points at transition of the stable state of a system to unstable state and a critical stage of structural transformations. The experiments were accomplishing on a simulated physical model of a bulking cone, which allows using acoustic emission monitoring synchronized with high-speed video registration to carry out temporary gating of the stochastic processes of accumulation and sliding down a flow of the granules upon an inclined surface of the cone at the stages of its formation.

Keywords: glass granulate, bulking cone, damage modeling, acoustic emission, impulse AE, criterial parameters, descriptors, activity, waveform, spectrum.

Введение

В Институте машиноведения РАН исследования процессов накопления повреждений с применением акустико-эмиссионного мониторинга проводились на имитационных физических моделях: насыпном конусе стеклогранулята [1] и оксидном тензопокрытии [2-10], отражающих процессы деградации и разрушения структуры конструкционных материалов, как металлов, так и полимерных композитных материалов (ПКМ). Выделение различных фаз и соответствующих им спектральных состояний диагностируемой системы при переходе от регулярного к неустойчивому аварийному состоянию, является весьма важным аспектом при анализе переходных процессов. При циклических нагрузках процесс деградации и разрушения структуры материала сопровождается необратимыми преобразованиями, обусловленными переходом от стадии накопления повреждений к зарождению микротрещин в зонах повышенной концентрации напряжений, их развитию, объединению в магистральные макротрещины с последующим скачкообразным подрастанием и достижением критической длины, после чего конструкция разрушается или теряет несущую способность.

Задача настоящих исследований состояла в том, чтобы с применением разработанной методики кластерного анализа, критериальных параметров и спектральной диагностики в ходе акустико-эмиссионного мониторинга с использованием синхронизированной высокоскоростной видеосъёмки выявить специфические, характерные для исследуемой физической системы состояния, характеризующиеся излучением специфических сигналов АЭ, которые бы свидетельствовали о происходящих изменениях регистрируемых процессов, возникающих в результате нарушения устойчивого состояния системы и переходе в активную фазу деградации структурных связей, т.е. достижения точек бифуркации, в которых система переходит на новую стадию структурных преобразований, сопровождающихся стабилизацией процесса накопления повреждений, либо его лавинообразным развитием с разрушением заложенных структурных связей – состояние катастрофы.

Критериальные параметры

В процессе разрушения структуры материала каждый регистрируемый локационный импульс АЭ отражает энергию, выделяемую при разрыве или повреждении структурной связи, характеризуемую параметрами его формы и спектра. Для оценки степени деградации структуры конструкционного материала, целесообразно регистрируемые в процессе АЭ мониторинга локационные импульсы разделять на кластеры нижнего (***H***), среднего (***C***) и верхнего (***B***) энергетического уровня [1, 6-10]. При этом градацию кластеров по энергетическому уровню следует осуществлять таким образом, чтобы формирующие их импульсы отражали процессы разрушений, происходящие в структуре композитного материа-

ла на микро, мезо и макромасштабном уровне. Для оценки степени деградации материала на разных структурных уровнях целесообразно использовать процентное (весовое) содержание импульсов в соответствующих кластерах: $W_H=(N_H/N_\Sigma)\cdot 100\%$, $W_C=(N_C/N_\Sigma)\cdot 100\%$, $W_B=(N_B/N_\Sigma)\cdot 100\%$, где N_H, N_C, N_B – количество импульсов, накопленных в кластерах ***H***, ***C***, ***B***, $(N_\Sigma)_л$ – суммарное количество зарегистрированных локационных импульсов АЭ.

На рис. 1 показаны основные блоки предложенной концепции, включающие разделение регистрируемых локационных импульсов АЭ на энергетические кластеры ***B, C, H*** (***a***), дифференциальное распределение весового содержания локационных импульсов W_B, W_C, W_H по уровню параметра $E_И$ в кластерах (***b***) и мониторинг изменения весового содержания локационных импульсов в процессе нагружения изделия (***c***) – диаграмма W_i-τ. В ходе АЭ мониторинга диагностируемого изделия программное обеспечение (ПО) осуществляет разделение потока регистрируемых сигналов по величине относительной энергии ($E_и$) и усредненной частоте выбросов ($N_и/t_и$), в результате чего в поле указанных параметров происходит формирование кластеров нижнего, среднего и верхнего энергетического уровня.

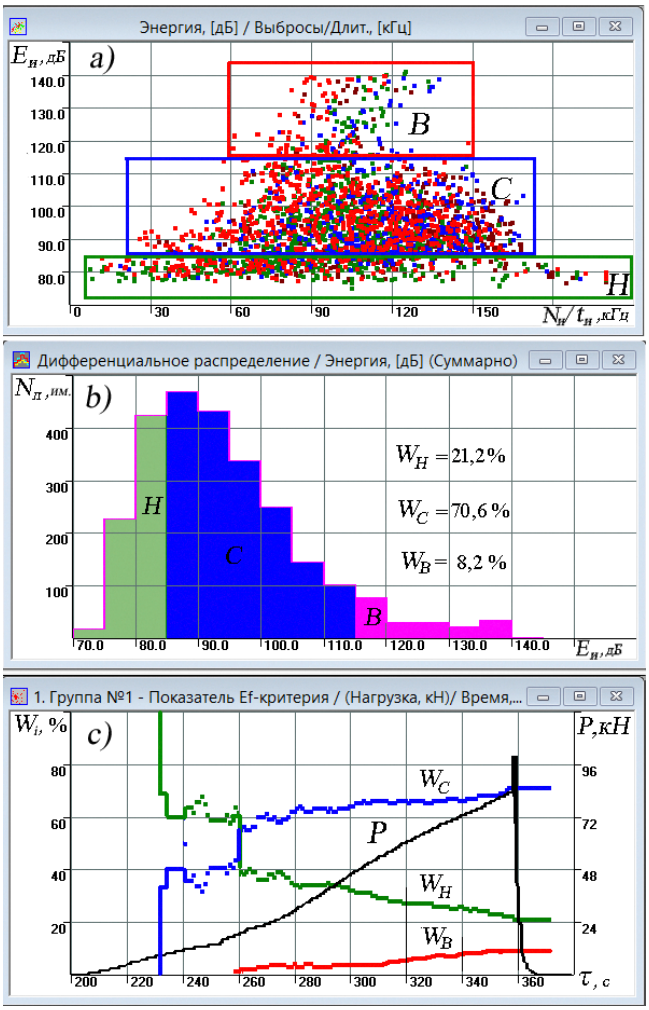

Рис. 1. Основные блоки алгоритма оценки степени деградации структуры материала в процессе АЭ мониторинга изделия: ***a*** – разделение локационных импульсов на кластеры ***B, C, H*** в поле параметров $E_И$ - $N_И/t_И$; ***b*** – дифференциальное распределение весового содержания локационных импульсов в кластерах по величине параметра $E_И$; ***c*** – динамика изменения весового содержания локационных импульсов в энергетических кластерах в процессе АЭ мониторинга изделия

Акустико-эмиссионная измерительная система осуществляет подсчет изменения весового содержания локационных импульсов в кластерах ***B, C***, ***H*** в каждую секунду эксперимента. Границы энергетических кластеров, формируемых локационными импульсами в процессе АЭ мониторинга, устанавливают по результатам предварительного тестирования материала изделия, исходя из природы источников излучения импульсов, вида нагружения, типа применяемых преобразователей, настроек АЭ системы, в том числе полосы пропускания цифровых фильтров и уровня порога дискриминации сигналов. Контролируя динамику изменения весового содержания локационных импульсов в кластерах ***H***, ***C***, ***B***, оценивают степень деградации материала на разных структурных уровнях и прогнозируют остаточную прочность изделия путем сопоставления с результатами тестовых испытаний образцов материала изделия на разрушение [7].

Рассматриваемая в статье физическая имитационная модель накопления повреждений, реализуемая в процессе формирования насыпного конуса стеклогранулята, позволяет получать большие массивы информации, моделировать различные формы импульсов АЭ, варьировать скорость его роста, использовать для регистрации происходящих процессов не только акустико-эмиссионный контроль, но и высокоскоростную видеосъёмку, синхронизированную с акустико-эмиссионной системой.

Кластерный анализ и спектральная диагностика

При разработке методики и программного продукта кластерного анализа и спектральной диагностики для классификации регистрируемых массивов данных предполагали, что сигналы АЭ, порожденные одним и тем же по природе источником акустической эмиссии, схожие по форме и спектру, с высокой долей вероятности излучаются подобными источниками и напротив, сигналы, форма и спектр которых существенно отличаются, скорее всего, излучаются различными по природе источниками АЭ. В основу алгоритма классификации сигналов АЭ положен кластерный подход, позволяющий в поле экспериментально установленных значений параметров (дескрипторов), характеризующих различные акустико-эмиссионные свойства регистрируемых импульсов, проводить их классификацию. Сигналы, схожие друг с другом по ряду заранее выбранных признаков, относят к одному и тому же кластеру. При этом объектом кластеризации являются импульсы АЭ, а в качестве меры их схожести используются установленные при тестировании границы локализации их параметров на графике дескрипторов. Под термином дескрипторы (описатели) применительно к выбранным параметрам регистрируемых импульсов АЭ понимаются идентификаторы, позволяющие в границах заранее установленных параметров распознавать входящие сигналы, помещая их в кластеры, свойственные определённым источникам АЭ.

Как показали проведенные исследования [1-10], предложенный подход позволяет во входном потоке данных выявлять наличие различных типов источников АЭ. Анализ регистрируемых сигналов возможен непосредственно в реальном времени и не требует предварительной фильтрации данных. Причем программный продукт предусматривал специфику распространения акустических волн в диагностируемых объектах.

Для решения рассматриваемой задачи при регистрации входящих потоков данных акустико-эмиссионной системой использован алгоритм распознавания сигналов по форме затухающей волны. В качестве существенных признаков, наиболее информативных для распознавания сигналов по форме волн АЭ импульсов применены комбинированные параметры, отражающие скорость затухания импульса и усредненную частоту выбросов.

В основные критериальные параметры, применяемые при кластерном анализе и классификации регистрируемых импульсов АЭ, входят максимальная амплитуда импульса ($\boldsymbol{u_m}$), его длительность ($\boldsymbol{t}_{\text{и}}$), число выбросов ($\boldsymbol{N}_{\text{и}}$) от момента пересечения импульсом уровня порога дискриминации ($\boldsymbol{u_{th}}$) до ухода сигнала под порог, а также комплексные

параметры $\boldsymbol{u_m}/\boldsymbol{N}_и$, $\boldsymbol{N}_и/\boldsymbol{t}_и$, характеризующие скорость затухания импульса и усредненную частоту выбросов.

При спектральном анализе разделение регистрируемых локационных импульсов на кластеры со сходными спектрами, относящихся к аналогичным или близким типам событий АЭ, выполняют в поле параметров $\eta - f_{\Delta}$, с использованием коэффициента парциальной плотности энергии $\eta = Hf_m/Hf_R$, выделяемой на пиковой частоте f_m регистрируемого максимума и частоте резонанса f_R применяемых преобразователей, в полосе пропускания Δf цифрового фильтра АЭ системы.

С применением преобразователей АЭ, объединённых в локационные группы, определялось место положения источников излучения регистрируемых сигналов. Строились графики кумулятивного накопления импульсов АЭ ($\boldsymbol{N_{\Sigma}}$) для каждого канала и отдельно для лоцируемых сигналов, а также регистрировалась активность сигналов, т.е. их количество в единицу времени ($\boldsymbol{\acute{N}_{\Sigma}}$). Определялась динамика изменения амплитуды, длительности, счета выбросов в импульсах и величины параметра $\boldsymbol{u_m}/\boldsymbol{N}_и$ лоцируемых сигналов во времени.

Системы акустико-эмиссионного контроля и видеорегистрации.

Перед проведением АЭ мониторинга процесса формирования насыпного конуса выполнялась настройка АЭ системы, включающая выбор преобразователей акустической эмиссии (ПАЭ), предусилителей сигналов, полосы пропускания цифровых фильтров $\Delta \boldsymbol{f_p}$, определения минимально допустимого уровня порога дискриминации сигналов $\boldsymbol{u_{th}}$, максимальной длительности регистрируемых импульсов $\boldsymbol{D_{max}}$, мертвого времени, периода SCETO, в течение которого система ожидает продолжение сигнала, после того, как он ушел под порог, и других настраиваемых параметров. Вычислялась групповая скорость акустической волны по разности времени прихода (РВП) АЭ импульсов на приёмники локационной решетки при максимальном их удалении. В ходе определения параметра $\boldsymbol{u_{th}}$ производилась запись шумовых сигналов и их спектров, регистрируемых АЭ системой в условиях проведения эксперимента.

Для регистрации сигналов АЭ использовались восьмиканальная многопараметрическая акустико-эмиссионная система A-Line 32D фирмы ООО «Интерюнис», предварительные усилители сигналов ПАЭФ-014 с коэффициентом усиления 26 дБ и, полосовые преобразователи акустической эмиссии (ПАЭ) R15α фирмы «Mistras». Собственные шумы электрического тракта АЭ системы A-Line 32D, включающего ПАЭ, предусилитель, блок сбора и предварительной обработки информации, составляли 26 дБ, а системы PCI-2 – 22 дБ. Для отсечки влияния внешних шумов порог дискриминации сигналов АЭ был установлен на уровне $\boldsymbol{u_{th}}$=30 дБ.

Видеосъёмка процесса формировании насыпного конуса осуществлялась с применением высокоскоростной видеокамеры «Видеоспринт», синхронизированной с акустико-эмиссионной системой A-Line 32D, что позволило синхронно просматривать потоки видеоизображений и массивы регистрируемых импульсов АЭ в режиме пост-обработки при анализе переходных процессов формирования насыпного конуса стеклогранулята.

Регистрация неустойчивых переходных процессов при формировании насыпного конуса стеклогранулята.

Моделирование опасных состояний неустойчивых переходных процессов накопления повреждений, возникающих в материалах конструкций или технических системах при циклическом нагружении в процессе эксплуатации или испытаний при переходе от регулярного к аварийному режиму, осуществлялось на этапах формирования насыпного ко-

нуса стеклогранулята. Как показали ранее проведенные исследования [1], формирование конуса на заключительных этапах экспериментов сопровождается периодическим обрушением его вершины и сползанием массивов стеклогранулята к его основанию. Частота обрушений возрастает по мере увеличения высоты формирующегося конуса. По мере роста насыпного конуса увеличивается «ударная вязкость среды» – её демпфирующая способность, гасящая, как скорость гранул после соударения с рыхлой поверхностью конуса, так и распространяющуюся акустическую волну в сыпучей среде. При повторных отскоках от рыхлой поверхности конуса скорость гранул заметно падает, что приводит к снижению их кинетической энергии. При этом амплитуда основного массива локационных импульсов оказывается на уровне или ниже порога дискриминации сигналов $\boldsymbol{u_m \leq u_{th}}$=30 дБ. Стандартная методика планарной локации [11], использовавшаяся в проводимых экспериментах при АЭ мониторинге процесса формирования насыпного конуса стеклогранулята, из-за высокого уровня демпфирования среды стеклогранулята, не позволила на заключительном этапе регистрировать АЭ импульсы, возникающие в результате лавинообразных обрушений вершины. Регистрировались лишь импульсы, возникающие при ударе гранул по основанию насыпного конуса.

Поэтому была специально разработана оригинальная методика АЭ мониторинга лавинообразных процессов, возникающих в сыпучих средах, которая несмотря на высокую их демпфирующую способность, позволяет регистрировать низкоэнергетические импульсы, возникающие в результате лавинообразного сползания, накопившихся массивов стеклогранулята с вершины конуса к его основанию.

Регистрация этих процессов в ходе проводимых экспериментов осуществлялась с применением акустико-эмиссионного системы A-Line 32D, синхронизированной с высокоскоростной камерой «Видеоспринт» посредством программы «LabVIEW». Ни рис. 2 показан процесс истечения потока гранул стекла из воронки накопителя на базовую платформу и стеклянную пластину при формировании насыпного слоя стеклогранулята.

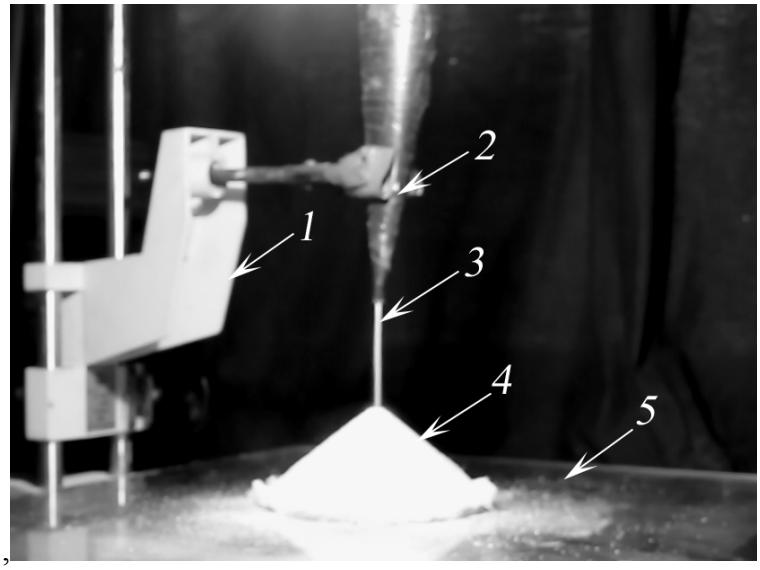

Рис. 2. Истечения потока гранул стекла из воронки накопителя на поверхность алюминиевой модели и стеклянной пластины при формировании насыпного конуса стеклогранулята: 1– подвижный кронштейн штатива; 2– воронка питателя; 3– поток гранул; 4– базовая платформа; 5– стеклянная пластина

В качестве сыпучего материала для проведения экспериментов были использованы гранулы свинцового стекла с размером 200-400 мкм. Контейнером для стеклогранулята служила воронка, изготовленная из плотной лощенной бумаги. Диаметр выходного отверстия воронки составлял 2 мм. Во время эксперимента контейнер закреплялся в подвижном кронштейне штатива и перемещался относительно поверхности стекла по мере роста насыпного конуса, так что расстояние между выпускным отверстием воронки и вершиной конуса постоянно сохранялось на уровне 100 мм. Для локации источников сигналов АЭ, возникающих в результате соударения гранул, их последующего отскока и скатывания по наклонной поверхности формируемого конуса использовались семь преобразователя R15α, установленных на тыльной стороне стекла. Шесть ПАЭ равномерно располагались по периметру алюминиевой платформы на расстоянии 60 мм от центрального ПАЭ № 7, оппозитно расположенного относительно места падения потока гранул на формируемый конус. На рис. 3 показана схема размещения ПАЭ, параметры планарной локации и кластеризации АЭ событий, включающие размер локационных кластеров, соотношение между цветом кластеров и количеством регистрируемых событий, а также максимальной амплитудой регистрируемых импульсов.

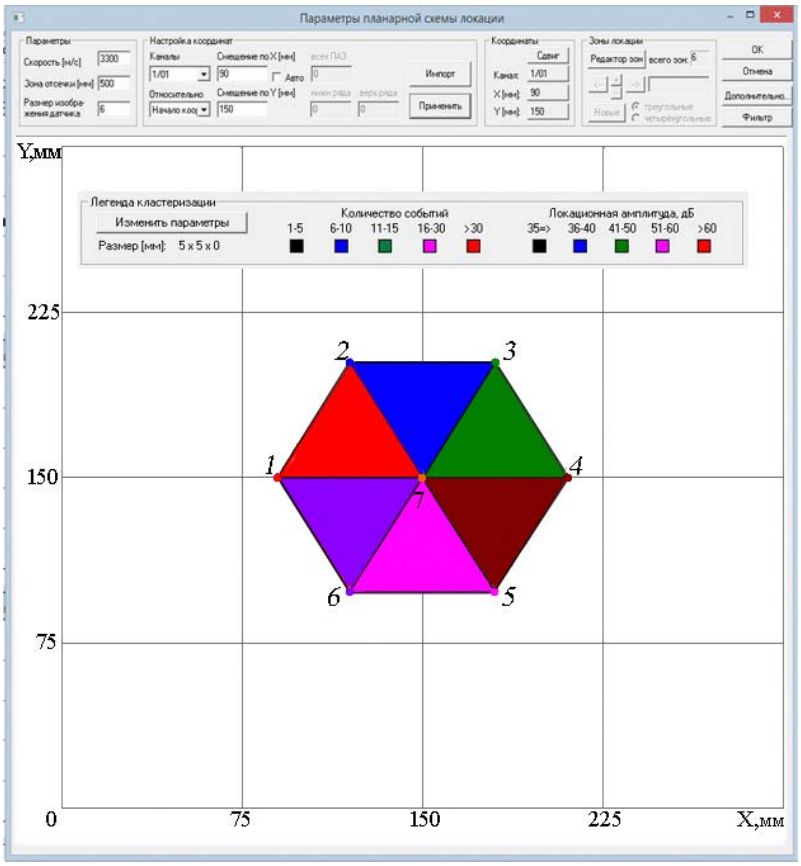

Рис. 3. Схема расположения ПАЭ, параметры планарной локации и кластеризации АЭ событий

Рассмотрим результаты одного из экспериментов, в ходе которого использовался стеклогранулят объёмом 260 мл и массой 546 г с размерами гранул 200-400 мкм, загруженный в воронку из лощенной бумаги (питательный контейнер). Истечения гранул стекла из контейнера происходило в течение 317 секунд эксперимента с 40 по 357 секунду включительно. В результате на поверхности листового стекла, на которое устанавли-

валась базовая платформа, образовался насыпной конус стеклогранулята правильной формы со средним диаметром в основании 158 мм, высотой 53 мм и углом наклона 34°.

На рис. 4 показаны результаты АЭ мониторинга процесса формирования насыпного конуса стеклогранулята на поверхности базовой платформы. Как следует из графика ***a*** на рис. 4 – накопления локационных импульсов каналами АЭ системы, в ходе АЭ мониторинга процесса формирования насыпного конуса стеклогранулята всего было зарегистрировано $(N_{\Sigma})_{л}$=14037 событий АЭ.

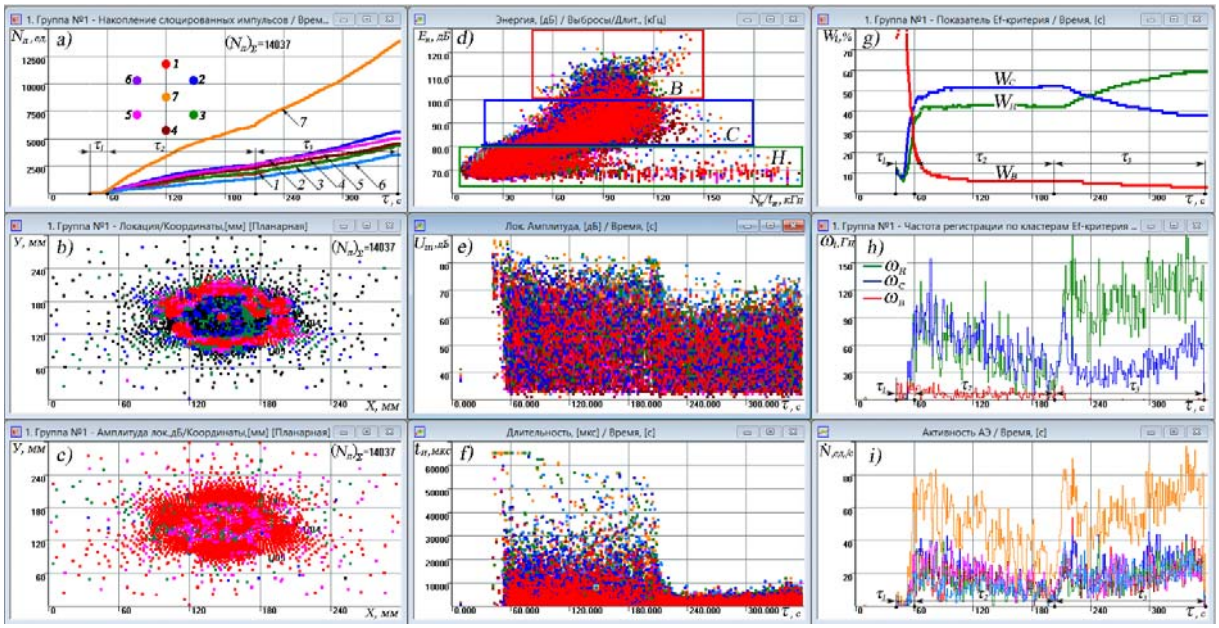

Рис. 4. Результаты АЭ мониторинга процесса формирования насыпного конуса на поверхности алюминиевой модели в течение 317 секунд эксперимента

На графике ***a*** рис. 4 цветными маркерами с цифрами 1, …, 7 показана схема расположения ПАЭ при планарной локации АЭ событий в ходе мониторинга процесса формирования насыпного конуса. Наибольшее количество локационных импульсов в ходе эксперимента было зарегистрировано центральным преобразователем – ПАЭ № 7. Периферийные преобразователи – ПАЭ № 1-№ 6, равноудаленные от центрального на расстоянии 60 мм, зарегистрировали в 3-4 раза меньшее количество локационных импульсов. Исходя из интенсивности регистрации локационных импульсов, характеризуемой тангенсом угла наклона кривых, процесс накопления АЭ событий может быть разбит на три периода: τ_1=40-60 с, τ_2=60-204 с и τ_3=204-357 с эксперимента. В течение 20 секунд периода τ_1 соударение падающих гранул стекла происходило непосредственно с поверхностью базовой платформы. Для этапа τ_2 характерно уже соударение гранул стекла с растущим слоем стеклогранулята, формирующимся на поверхности модельного конуса. По мере увеличения толщины слоя стеклогранулята и усиления его демпфирующей способности интенсивность накопления локационных импульсов каналами АЭ системы заметно падала. На этапе τ_3 вновь регистрируется рост накопления локационных импульсов, вызванный лавинообразными обрушениями вершины насыпного конуса, частота которых возрастала по мере увеличения толщины слоя стеклогранулята.

На графиках ***b*** и ***c*** рис. 4 представлены картины координатной и амплитудной локации, зарегистрированных в процессе формирования насыпного конуса АЭ событий. Как следует из графика ***b***, наибольшая плотность слоцированных событий, превышающая

120 ед./см^2, и отмеченная на графике координатной локации кластерами красного цвета, регистрировалась в области между концентрическими окружностями, образуемыми радиусами 30 мм и 60 мм. В рассматриваемой области, как видно из графика ***c*** амплитудной локации, локационные кластеры имели красный цвет, соответствующий согласно принятым для кластеризации обозначениям максимальной амплитуде импульсов $u_m \geq 60$ дБ (см. рис. 3).

Как следует из графиков ***e*** и ***f*** на рис. 4, отражающих динамику изменения максимальной амплитуды и длительности локационных импульсов в процессе формирования насыпного конуса, импульсы максимальной амплитуды u_m=70-90 дБ и длительности t_u=(50-65)·10^3 мкс регистрировались на этапе τ_1 в результате соударения падающих гранул стекла с поверхностью базовой платформы. При образовании на этапе τ_2 на поверхности алюминиевой платформы рыхлого демпфирующего слоя стеклогранулята амплитуда и длительность регистрируемых локационных импульсов начали заметно снижаться по мере его роста. Особенно резкое падение длительности локационных импульсов наблюдалось на этапе τ_3, когда уровень t_u уже не превышал 10^4 мкс.

Локационные импульсы, регистрируемые в процессе АЭ мониторинга, формировали в поле дескрипторов: относительной энергии (E_u) и усредненной частоты осцилляций (N_u/t_u), три энергетических кластера ***H***, ***C*** и ***B***, границы которых показаны на диаграмме ***d*** рис. 4. Граничные значения параметров выбранных дескрипторов для кластера ***H*** составляли: E_u=60-80 мкВ/ед., N_u/t_u=10-210 кГц, для кластера ***C***: E_u=80-100 мкВ/ед., N_u/t_u=20-180 кГц и для кластера ***B***: E_u =100-130 мкВ/ед., N_u/t_u=50-150 кГц.

На диаграмме ***g*** рис. 4 показана динамика изменения весового содержания локационных импульсов W_H, W_C, W_B, регистрируемая в энергетических кластерах ***H***, ***C***, ***B*** при АЭ мониторинге процесса формировании насыпного конуса стеклогранулята. Как следует из графика ***g***, наибольшие изменения весового содержания локационных импульсов в энергетических кластерах ***H***, ***C***, ***B*** происходили в течение первых 20 секунд периода τ_1 при формировании начального слоя стеклогранулята на поверхности алюминиевой модели. При этом весовое содержание локационных импульсов в кластере ***B*** снижалось с 80 % до W_B=20 %, а в кластерах ***C*** и ***H*** повысилось от 10 % до W_C=40% и W_H=35 %. На этапе τ_2 падение параметра W_B и рост параметров W_C и W_H продолжалось в период с 60 по 120 секунду эксперимента, после чего процесс изменения весового содержания локационных импульсов в энергетических кластерах стабилизировался и их значения составили: W_B=6 %, W_C=52% и W_H=42 %. В период τ_3 по мере увеличения частоты лавинообразных сползаний стеклогранулята с вершины конуса происходил рост весового содержания локационных импульсов в кластере ***H*** и снижение их содержания в кластерах ***C*** и ***B***. В конце эксперимента весовое содержание локационных импульсов в энергетических кластерах составляло: W_H=59 %, W_C=38% и W_B=3 %.

Графики ***h*** и ***i*** на рис. 4 отражают динамику изменения параметров частоты регистрации локационных импульсов в энергетических кластерах ω_B, ω_C, ω_H и параметра активности регистрации локационных импульсов $\acute{N}_\Sigma$ каналами АЭ системы. Как следует из сопоставления графиков ***h*** и ***i***, частота изменения весового содержания локационных импульсов в энергетических кластерах и активность их регистрации каналами АЭ системы на этапах формирования насыпного конуса изменялись достаточно синхронно. Этап τ_1, характеризуется резким возрастанием активности регистрации локационных импульсов всеми каналами АЭ системы. В начальный период этапа τ_1, когда происходило соударение падающего потока гранул с поверхностью алюминиевой платформы, основной массив составляли импульсы кластера ***B***, наибольшая частота регистрации которых достига-

ла ω_B=20-25 Гц. На последних секундах этапа τ_1 резко возрастает частота регистрации локационных импульсов, относящихся к кластерам ***C*** и ***H***, уровень которых на 60 секунде эксперимента составлял ω_C=80 Гц и ω_H=94 Гц. В этот период активность регистрации локационных импульсов седьмым каналом, ПАЭ которого был установлен оппозитно месту падения потока гранул стекла на алюминиевую модель, достигала $\acute{N}_\Sigma$=80 им./с.

На этапе τ_2 поток гранул падал уже на сформировавшийся рыхлый слой стеклогранулята. Вследствие этого, энергия удара, падающих гранул на рыхлую поверхность стеклогранулята, заметно гасилась. По данным видеорегистратора процесс роста конуса сопровождался увеличением его диаметра за счет скатывания и сползания потоков гранул с вершины конуса к его основанию. Поток гранул, падая на вершину насыпного слоя стеклогранулята, размывал её, вызывая массовое скатывание гранул, периодически сопровождаемое локальными селевыми оползнями. Этим обусловлены интенсивные пульсации регистрации сигналов АЭ на графиках ***h*** и ***i***. По мере роста толщины слоя стеклогранулята усиливалась демпфирующая способность насыпного конуса, в результате чего частота регистрации локационных импульсов в кластерах ***B***, ***C***, ***H*** синхронно снижалась и в конце этапа на 204 с эксперимента составляла: ω_B=7 Гц, ω_C =30 Гц и ω_H =20 Гц. Максимальная активность каналов АЭ системы на этапе τ_2 регистрировалась в период 60-80 с эксперимента, после чего наблюдалось постепенное снижением активности на всех каналах АЭ системы. При этом наибольшая активность АЭ регистрировалась на седьмом канале, на котором она в начальный период τ_2 (60-80 с) достигала своего максимума $\acute{N}_\Sigma$=80-85 им./с, а в конце второго этапа на 204 с эксперимента уже не превышала $\acute{N}_\Sigma$=25 им./с.

Начало этапа τ_3 сопровождается резким увеличением частоты регистрации локационных импульсов, относящихся к кластерам ***C*** и ***H***, уровень которых возрастал до ω_C =100 Гц и ω_H =180 Гц. При этом частота регистрации локационных импульсов кластера ***B*** снижалась практически до нуля. Такой характер изменения частоты регистрации импульсов в энергетических кластерах ***B***, ***C***, ***H*** на этапе τ_3 обусловлен оседанием вершины насыпного конуса и лавинообразным обрушением поверхностного слоя стеклогранулята. При этом основной массив локационных импульсов составляли сигналы АЭ, относящиеся к нижнему энергетическому кластеру, частота которых возрастала по мере увеличения толщины слоя стеклогранулята на поверхности алюминиевой модели. В этот период этапа τ_3 синхронно возрастала активность регистрации локационных импульсов на всех каналах. Наибольшая активность, достигающая $\acute{N}_\Sigma$=100 им./с, регистрировалась седьмым каналом, ПАЭ которого был расположен оппозитно месту падения гранул стекла на поверхность алюминиевой платформы.

Как следует из проведенного анализа результатов АЭ мониторинга процесса формирования насыпного конуса стеклогранулята, наиболее информативными параметрами, позволяющими получить наглядное представление о происходящих неустойчивых переходных процессах, являются параметры весового содержания локационных импульсов в энергетических кластерах W_H, W_C, W_B, частоты их регистрации ω_B, ω_C, ω_H и активность регистрации локационных импульсов каналами АЭ системы $\acute{N}_\Sigma$. Динамика изменения этих параметров, приведенная на графиках ***g***, ***h*** и ***i*** рис. 4, наглядно отображает происходящие неустойчивые переходные процессы накопления слоя стеклогранулята на всех этапах формирования насыпного конуса.

Синхронизация видео и акустико-эмиссионной регистрации процесса формирования насыпного конуса стеклогранулята позволила выявить основные типы событий АЭ и установить природу их возникновения. В ходе эксперимента регистрировались следующие типы локационных импульсов. Первый тип – сигналы, регистрируемые при упругих со-

ударениях и отскоках гранул стекла от поверхности базовой платформы. Второй тип – сигналы, регистрируемые в результате соударения потока гранул с вершиной конуса, их отскока и последующего внедрения в рыхлый слой стеклогранулята. Третий тип – сигналы, регистрируемые при периодически возникающих локальных селевых потоках, оседаниях вершины формирующегося конуса и лавинообразных процессах, возникающих в результате сдвига слоёв. На фотоизображениях высокоскоростной видеосъёмки рис. 5 отображены типичные моменты формирования насыпного конуса стеклогранулята на этапах τ_1, τ_2, τ_3.

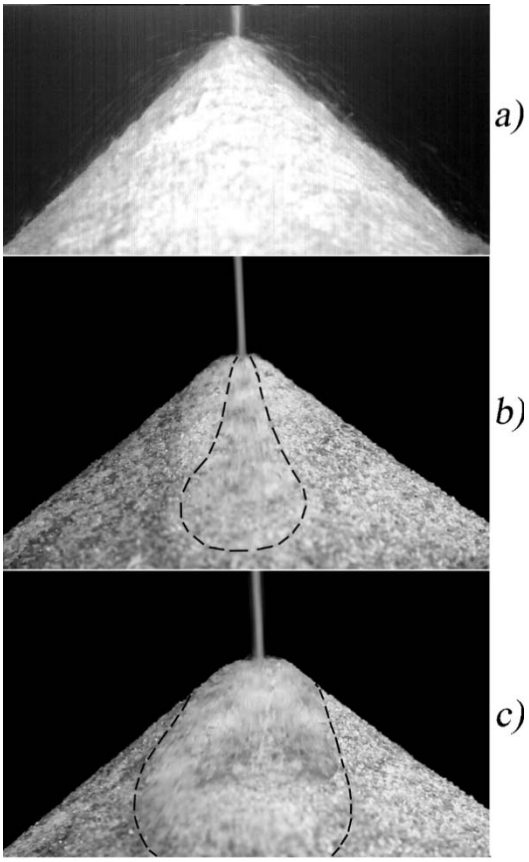

Рис. 5. Типичные моменты формирования насыпного конуса на этапах τ_1 (***a***), τ_2 (***b***) и τ_3 (***c***); - области лавинообразного сползания стеклогранулята с вершины конуса

Использование синхронной регистрация акустико-эмиссионных сигналов и видеоизображений позволило в ходе мониторинга процесса формирования насыпного конуса стеклогранулята провести точную идентификацию основных источников АЭ событий. С учетом результатов видеорегистрации ниже приведен анализ осциллограмм и спектров локационных импульсов, выделенных в моменты минимальной и максимальной активности регистрации сигналов, соответствующих периодам постепенного накопления стеклогранулята на поверхности алюминиевой платформы и лавинообразного обрушения рыхлого поверхностного слоя с вершины формирующегося конуса. Анализ проводился для локационных импульсов нижнего, среднего и верхнего энергетических кластеров, зарегистрированных в периоды τ_1 -τ_3, на основании данных пост-обработки результатов АЭ мониторинга (см. графики на рис. 4).

На этапе τ_1 процесс формирования слоя стеклогранулята на базовой платформе происходил следующим образом. Гранулы при ударе о вершину модели отскакивали от мес-

та падения, повторно соударяясь с его поверхностью на удалении 30-60 мм, где регистрировалась на графике ***b*** рис. 4 максимальная плотность локационных импульсов. После отскока от поверхности алюминиевой платформы гранулы могли совершать 3-4 отскока от плоскости стекла, после чего катились по ней сталкиваясь с другими гранулами до полной остановки. При этом акустико-эмиссионная система в основном регистрировала импульсы, возникающие в результате упругих соударений с поверхностью алюминиевой платформы и плоскостью стеклянной пластины. Уровень максимальной амплитуды импульсов гранул, катящихся по плоскости стекла, был уже ниже уровня порога дискриминации u_{th}=30 дБ.

Как видно из фрагмента ***a*** видеорегистрации на рис. 5, после первого удара о вершину базовой платформы гранулы совершали ещё несколько отскоков по её поверхности и плоскости стеклянной пластины. При этом в результате таких соударений на этапе τ_1 регистрировались локационных импульсов трех основных типов, осциллограммы и спектры которых имели характерный вид, приведенный на графиках рис. 6. Как видно из графиков на рис. 6, регистрируемые импульсы АЭ, возникающие в результате соударения стеклогранулята с поверхностью базовой платформы и плоскостью стеклянной пластины, имели сходные формы осциллограмм и спектров. Их главное отличие в уровне регистрируемых амплитуд и плотности выделяемой энергии на основных частотах спектров. Основная энергия спектров таких импульсов, как следует из графиков ***b*** на рис. 6, локализована в области резонансных частот применяемых преобразователей R15α – f_p=150-170 кГц.

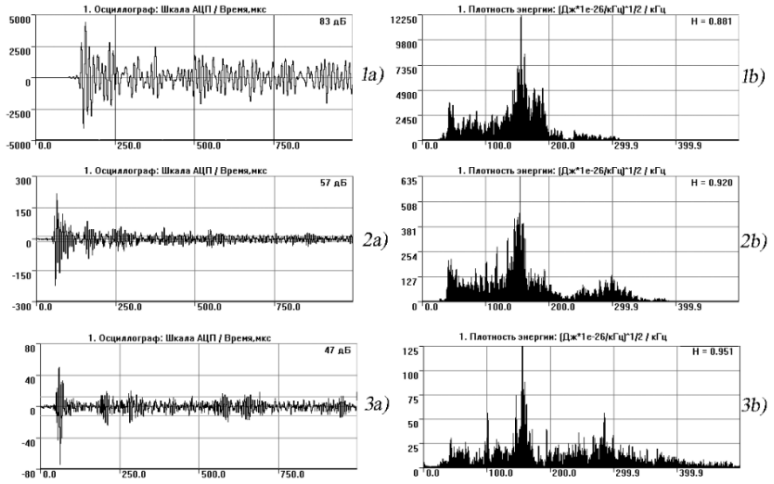

Рис. 6. Типичные формы осциллограмм (***a***) и спектров (***b***) локационных импульсов, регистрируемые при первом (***1***) и повторных соударениях гранул стекла с поверхностью алюминиевой платформы (***2***), и стеклянной пластины (***3***) на этапе τ_1

Накопление стеклогранулята на поверхности алюминиевой платформы на этапе τ_2 представляет собой сложный многофакторный процесс. В период 60-90 с – максимальной активности АЭ на этом этапе (см. график ***i*** на рис. 4) импульсы регистрировались в результате соударения потока падающих гранул с вершиной конуса, их отскока и внедрения в рыхлый поверхностный слой стеклогранулята, инициации оползней стеклогранулята в виде селевых потоков и их движения по наклонной поверхности конуса.

На рис. 7 приведены типичные формы осциллограмм и спектров импульсов АЭ, регистрируемых в этот период на этапе τ_2. По мере роста толщины слоя стеклогранулята на этапе τ_2 поток гранул, соударяясь с его поверхностью, генерировал импульсы заметно

меньшей амплитуды и длительности. При соударении гранул с рыхлой поверхностью стеклогранулята наблюдался, как отскок гранул, так и их внедрение в поверхностный слой в месте падения. Формы спектров АЭ сигналов № 1 и № 2 на рис. 7, зарегистрированных при первом и повторных соударениях гранул с рыхлым слоем стеклогранулята формирующегося конуса, существенно не отличаются от частотного распределения энергии в спектрах, представленных на рис. 6. Внедрение гранул в рыхлый поверхностный слой конуса, сопровождаемое ударным воздействием на ближайшего «соседа», вызывало импульсы типа № 3 на рис. 7, которые возникают при контакте трущихся поверхностей. Такое активное внедрение падающих гранул в рыхлый поверхностный слой стеклогранулята при достижении критической толщины насыпного слоя в области вершины конуса инициировало возникновение селевых потоков скатывающихся гранул.

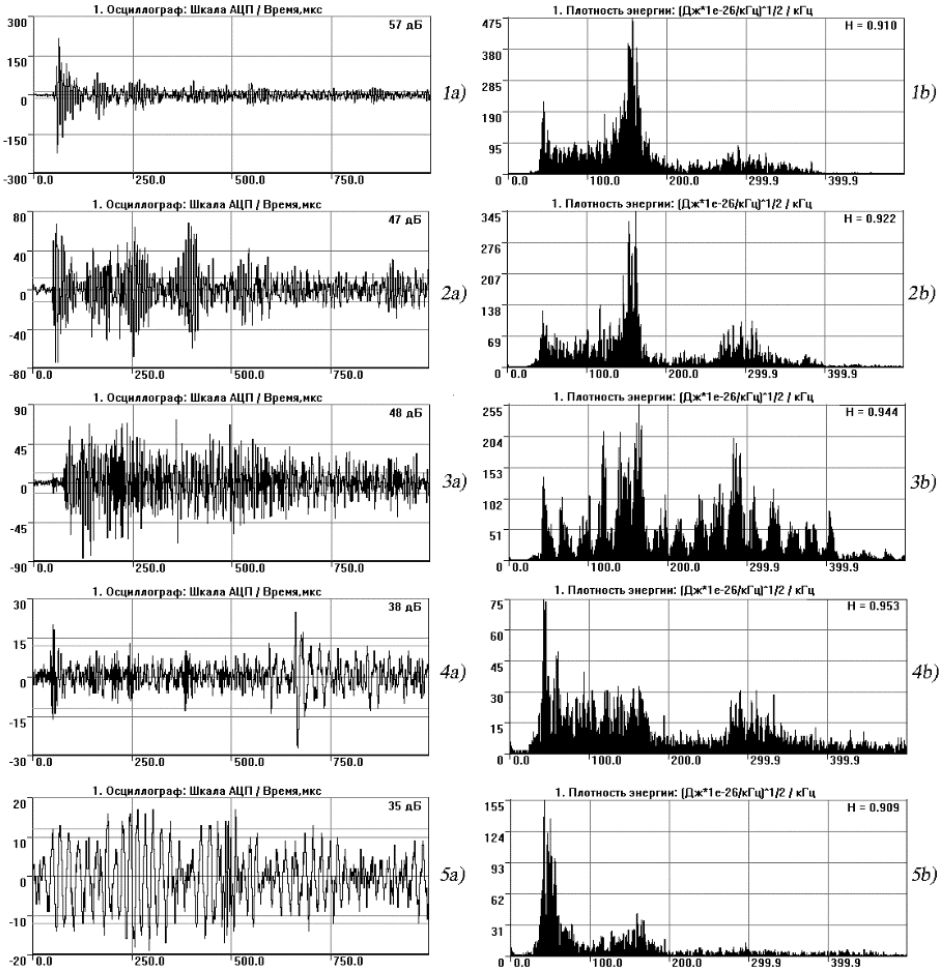

Рис. 7. Осциллограммы (***a***) и спектры (***b***) импульсов АЭ, регистрируемые на этапе τ_2 при ударе гранул стекла о вершину конуса (***1***), повторного соударения с поверхностью стеклогранулята (***2***), внедрении гранул в рыхлый поверхностный слой (***3***), инициации оползней стеклогранулята в виде селевых потоков (***4***) и их движения по наклонной поверхности конуса (***5***)

На снимке ***b*** рис. 5, полученного в процессе высокоскоростной видеосъемки, показан типичный селевой поток, возникающий в результате сегментного обрушения у вершины формирующегося насыпного конуса. Представленные на графиках рис. 7 импульсы типа № 4 возникали в моменты инициации селевых потоков, а импульсы № 5 в процессе сползания наружного слоя стеклогранулята по наклонной поверхности конуса.

Как следует из рис. 7, осциллограммы и спектры сигналов № 4 и № 5 отличались от других анализируемых типов не только по уровню амплитуды и плотности регистрируемой энергии, но и по форме и спектральному распределению выделяемой энергии. Импульсам АЭ, зарегистрированным в процессе инициации селевых потоков и их сползания по наклонной поверхности конуса, свойственна уникальная форма осциллограмм и характерный спектр распределения плотности энергии. Если энергия сигналов типов № 1–№ 3, имеет максимум на резонансной частоте применяемых ПАЭ Δf_p=150-170 кГц, то пик распределения энергии сигналов типа № 4 и № 5, генерируемых процессами инициации и движения селевых потоков стеклогранулята, локализован в достаточно узкой области низких частот $\Delta f_м$=40-60 кГц.

Процесс формирования конуса на этапе τ_3 сопровождался периодически происходящими обрушениями его вершины и лавинообразным сползанием массивов стеклогранулята к его основанию. Причем частота лавинообразных обрушения и селевых оползней возрастала по мере увеличения высоты слоя стеклогранулята, которая в ходе эксперимента не превышала 20 мм на поверхности алюминиевой платформы. Оседание вершины конуса под действием собственного веса генерировало сдвиговую волну по всей толщине насыпного слоя стеклогранулята. При этом возникали лавинообразные сползания наружного слоя стеклогранулята, идущие по всему периметру формирующегося конуса. На фрагменте ***c***, высокоскоростной видеосъемки рис. 5, показано лавинообразное движение слоя стеклогранулята по поверхности базовой платформы, вызванное оседанием вершины формирующегося конуса.

При проседании вершины конуса и сходе лавин на этапе τ_3 регистрировались импульсы АЭ, относящиеся не только к нижнему, но и к среднему и даже к верхнему энергетическим кластерам. Причем формы осциллограмм и их спектры, показанные на графиках рис. 8, заметно отличаются от ранее регистрируемых на этапах τ_1 и τ_2, приведенных на рис. 6 и 7.

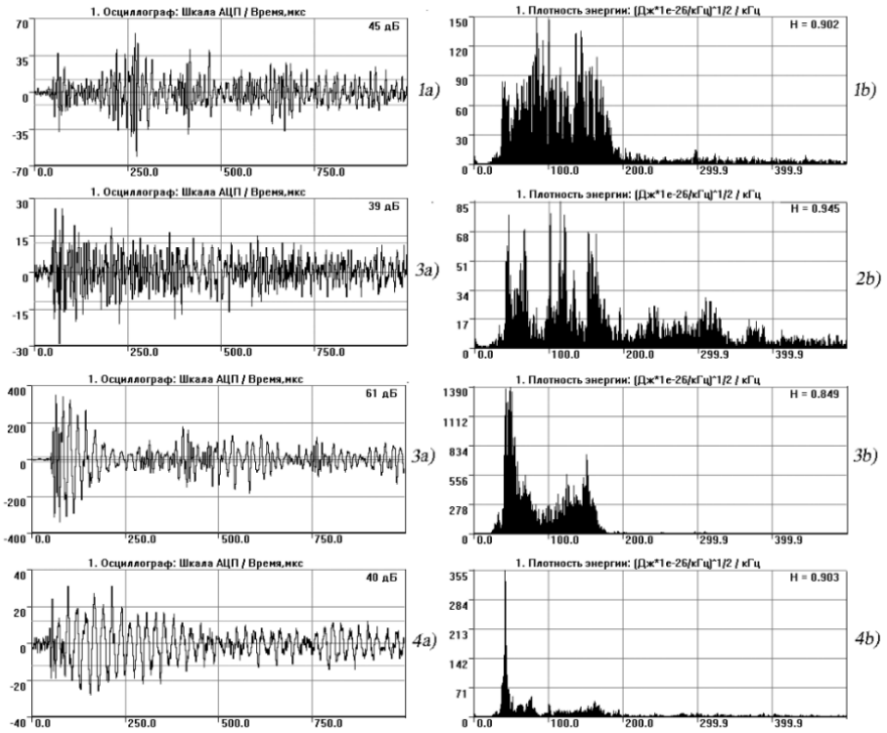

Рис. 8. Осциллограммы (***a***) и спектры (***b***) локационных импульсов АЭ, возникающие при оседании вершины конуса (***1, 2***) и лавинообразном сползании наружного слоя стеклогранулята, регистрируемые в области вершины (***3***) и у основания конуса (***4***) на этапе τ_3

Как следует из графиков рис. 8, осциллограммы и спектры АЭ сигналов типа № 1 и № 2, возникающие в моменты оседания вершины конуса, заметно отличаются от сигналов при лавинообразном сползании наружного слоя стеклогранулята, регистрируемых у вершины конуса № 3 и у его основания № 4. Формы осциллограмм и спектры последних достаточно похожи на те, что возникают при сходе селевых потоков стеклогранулята (см. графики ***4*** и ***5*** на рис. 7). Основная энергия сигналов при оседании вершины конуса локализована в более широком диапазоне 40-160 кГц по сравнению с частотным диапазоном 40-60 кГц характерным для спектров сигналов, регистрируемых при лавинообразном сползании поверхностного слоя стеклогранулята.

Локационные импульсы, имеющие сходные осциллограммы и спектры, регистрируемые на этапах процесса образования насыпного конуса, очевидно принадлежат к аналогичным или близким источникам излучения АЭ. Поэтому в поле наиболее характерных для них параметров, несущих информацию о форме сигналов, они должны формировать идентификационные кластеры, свидетельствующие о природе источников АЭ событий. Разделение локационных импульсов с использованием соотношения парциальных плотностей энергий (Hf_m/Hf_R), выделяемых на пиковой частоте (f_m) регистрируемого максимума и частоте резонанса (f_R) применяемых преобразователей позволяет сформировать такие кластеры в частотном диапазоне полосы пропускания цифрового фильтра АЭ системы. На рис. 9 показан результат разделения локационных импульсов, зарегистрированных в ходе формирования насыпного конуса стеклогранулята, на энергетические кластеры в поле параметров η – Δf, отражающих соотношение пиковой плотности энергии Hf_m, регистрируемой на частоте f_m, к плотности энергии Hf_R на резонансной частоте f_R=160 кГц преобразователя *R15-α*, в частотном диапазоне Δf полосы пропускания цифрового фильтра АЭ системы.

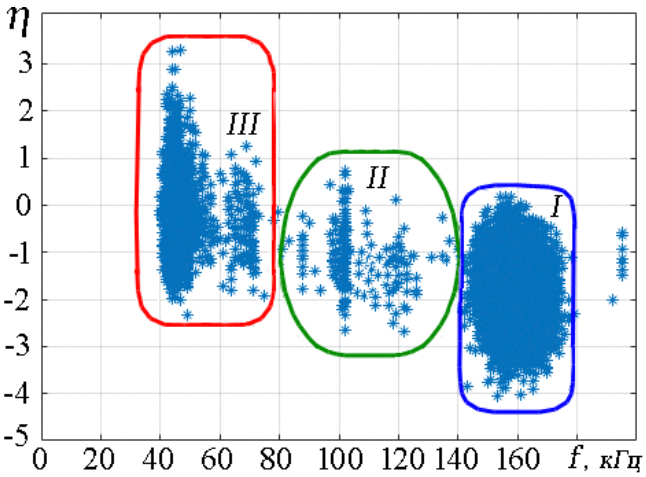

Рис. 9. Осциллограммы (***a***) и спектры (***b***) локационных импульсов АЭ, возникающие при оседании вершины конуса (***1, 2***) и лавинообразном сползании наружного слоя стеклогранулята, регистрируемые в области вершины (***3***) и у основания конуса (***4***) на этапе τ_3

Сформировавшиеся на диаграмме дескрипторов рис. 9 кластеры *I*, *II*, *III* локационных импульсов соответствуют определённым типам источников сигналов. Кластер *I* включает импульсы при соударении падающих гранул с базовой платформой, повторных ударов после отскоков по поверхности формирующегося насыпного конуса и стеклянной пластины. Кластер *II* объединяет импульсы, возникающие в результате внедрения падающих гранул в рыхлый слой стеклогранулята и инициации селевых потоков стеклогранулята на

этапах τ_2 и τ_3, а также периодически происходящих оседаний вершины формирующегося конуса на заключительном этапе эксперимента. Кластер *III* объединяет импульсы, возникающие при селевых и лавинообразных обрушениях поверхностного рыхлого слоя стеклогранулята с вершины насыпного конуса на этапах его формирования.

4. Результаты исследований и выводы

К основным результатам работы по моделированию процесса накопления повреждений и регистрации переходных процессов на неустановившихся режимах в ходе формирования насыпного конуса стеклогранулята на поверхности алюминиевой платформы с применением акустико-эмиссионного мониторинга, синхронизированного с высокоскоростной видеосъёмкой, можно отнести следующее.

1. Применение базовой платформы, на поверхности которой происходило формирование насыпного конуса, позволило снизить уровень затухания амплитуды акустических волн в слое стеклогранулята, что дало возможность регистрировать локационные импульсы АЭ, возникающие в процессе периодически повторяющихся селевых и лавинообразных обрушений формирующегося конуса, а также оседаний его вершины под действием собственного веса.

2. Синхронизация высокоскоростной видеосъёмки движения потоков стеклогранулята с пост-обработкой результатов АЭ мониторинга, проведенная на основании применения критериальных параметров, кластерного анализа и спектральной диагностики сигналов, позволила отработать методику и технологию регистрации физических переходных процессов, при накоплении стеклогранулята на поверхности алюминиевой платформы в ходе формирования насыпного конуса, проследить динамику изменения весового содержания локационных импульсов в энергетических кластерах ***H***, ***C***, ***B***, частоту их пульсации, активность регистрации сигналов каналами АЭ системы и идентифицировать основные источники АЭ событий на этапах эксперимента.

3. С возрастанием толщины слоя стеклогранулята на поверхности базовой платформы повышается степень демпфирования акустических волн, в результате чего снижается активность регистрации сигналов их амплитуда и длительность. Проведенные эксперименты показали, что при увеличении толщины слоя стеклогранулята на поверхности алюминиевой платформы свыше 20 мм, источники импульсов АЭ, возникающие в результате соударения потока падающих гранул с вершиной конуса, имели уровень максимальной амплитуды близкий к уровню порога дискриминации u_{th}=30 дБ.

4. Наиболее информативными параметрами, наглядно отображающими динамику неустойчивых переходных процессов на этапах проводимых экспериментов, являются параметры весового содержания локационных импульсов в энергетических кластерах W_H, W_C, W_B, частоты их регистрации ω_B, ω_C, ω_H и активность регистрации сигналов каналами АЭ системы $\acute{N}_\Sigma$. Динамика изменения этих параметров, приведенная на графиках ***g***, ***h*** и ***i*** рис. 4, дает наглядное представление о происходящих неустойчивых переходных процессах накопления стеклогранулята на всех этапах формирования насыпного конуса.

5. Анализ динамики изменения параметров, приведённых на графиках пост-обработки данных АЭ мониторинга (см. рис. 4), позволяет точно определить точки бифуркации переходных процессов, происходящих при формировании насыпного конуса стеклогранулята.

5.1. Точка B_1 – момент прекращения непрерывной эмиссии, характерной для этапа τ_1, при которой регистрируются импульсы с длительностью t_u>65·10^3 мкс и амплитудой u_m=75-90 дБ, возникающие при соударении потока гранул с поверхностью базовой платформы, совпадает с началом этапа τ_2, когда на её поверхности образуется рыхлый слой стеклогранулята.

5.2. Точка $\boldsymbol{B_2}$, отделяющая этап $\boldsymbol{\tau_2}$, характеризуемого стабильным ростом слоя стеклогранулята до 20 мм на поверхности алюминиевой платформы, возрастанием его демпфирующей способности, снижением уровня активности АЭ, амплитуды и длительности регистрируемых локационных импульсов (см. графики ***i***, ***d*** и ***e*** на рис. 4), от этапа $\boldsymbol{\tau_3}$, сопровождающегося периодически происходящими оседаниями вершины формирующегося конуса и лавинообразными обрушениями наружного слоя стеклогранулята.

6. Разделение сигналов по их спектральным характеристикам в поле параметров $\eta - \Delta f$, с использованием коэффициента парциальной плотности энергии $\eta = H_{f_m}/H_{f_R}$, выделяемой на пиковой частоте (f_m) регистрируемого максимума и частоте резонанса (f_R) применяемых преобразователей, в полосе пропускания Δf цифрового фильтра АЭ системы, позволило сформировать на диаграмме дескрипторов рис. 9 три энергетических кластера локационных импульсов, соответствующих определённым типам источников АЭ.

6.1. Кластер *I* включает импульсы при соударении падающих гранул с алюминиевой платформой, отскоков и повторных ударов по поверхности формирующегося насыпного конуса и стеклянной пластины. Основная энергия таких сигналов локализована в диапазоне резонансных частот преобразователей R15α $-\Delta f_I = f_p$=150-170 кГц.

6.2. Кластер *II* объединяет импульсы, возникающие в результате внедрения падающих гранул в рыхлый слой стеклогранулята и инициации селевых потоков стеклогранулята на этапах $\boldsymbol{\tau_2}$ и $\boldsymbol{\tau_3}$, а также периодически происходящих оседаний вершины формирующегося конуса на заключительном этапе эксперимента. Основная энергия таких сигналов распределена в более широком диапазоне частот Δf_{II}=40-160 кГц.

6.3. Кластер *III* объединяет импульсы, возникающие при селевых и лавинообразных обрушениях поверхностного рыхлого слоя стеклогранулята на этапах формирования насыпного конуса. Основная энергия таких сигналов локализована в узком диапазоне области низких частот Δf_{III}=40-60 кГц.

Заключение

Задача настоящих исследований состояла в том, чтобы с применением разработанной методики кластерного анализа, критериальных параметров и спектральной диагностики в ходе акустико-эмиссионного мониторинга с использованием синхронизированной высокоскоростной видеосъёмки выявить специфические, характерные для исследуемой физической системы состояния, характеризующиеся излучением специфических сигналов АЭ, которые бы свидетельствовали о происходящих изменениях регистрируемых процессов, возникающих в результате нарушения устойчивого состояния системы и переходе в активную фазу деградации структурных связей, т.е. достижения точек бифуркации, в которых система переходит на новую стадию структурных преобразований, сопровождающихся стабилизацией процесса накопления повреждений, либо его лавинообразным развитием с разрушением заложенных структурных связей – состояние катастрофы.

Тестовые испытания разработанных в ИМАШ критериальных параметров, методик кластерного анализа, и спектральной диагностики подтвердили эффективность их применения для визуализации и анализа неустойчивых переходных процессов, определения точек бифуркации и выделения основных типов источников АЭ событий на этапах проводимых экспериментов. Как следует из анализа приведенных на рис. 4 графиков, комплексное их использование дало возможность наглядно проследить динамику переходных процессов при накоплении стеклогранулята на поверхности алюминиевой модели в ходе формирования насыпного конуса по изменению весового содержания локационных импульсов в энергетических кластерах, частоте их пульсаций, и активности регистрации сигналов каналами АЭ системы. Акустико-эмиссионный мониторинг, синхронизирован-

ный с высокоскоростной видеосъемкой, позволил осуществлять временное стробирование стохастического процесса накопления стеклогранулята на поверхности базовой платформы, что дало возможность точно контролировать происходящие структурные преобразования, на этапах переходных процессов формирования насыпного конуса и идентифицировать по спектральным характеристикам основные источники АЭ событий, регистрируемые в ходе акустико-эмиссионного мониторинга.

Исследованные особенности неустойчивых переходных процессов, регистрируемых при формировании насыпного конуса, включающие периоды накопления и обрушения стеклогранулята, могут быть распространены на другие модели и объекты сложных технических систем, в которых возможны переходы от начального устойчивого к неустойчивому и критическому состоянию.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 14-19-00776.

Литература

1. Махутов Н.А., Васильев И.Е., Иванов В.И., Елизаров С.В., Чернов Д.В. Тестирование методики кластерного анализа массивов акустико-эмиссионных импульсов при формировании насыпного конуса стеклогранулята. // Заводская Лаборатория. – 2016. № 5. с. 44-54.
2. Махутов Н.А., Шемякин В.В, Ушаков Б.Н., Петерсен Т.Б., Васильев И.Е. Применение акустической эмиссии для контроля за процессом образования трещин в хрупких оксидных тензоиндикаторах//Заводская лаборатория. – 2011. № 6. с. 41-44.
3. Махутов Н.А., Фомин А.В. Иванов В.И., Перьмяков, В.Н. Васильев И.Е. Комплексная диагностика предельных состояний и раннего предупреждения аварийных состояний конструкций. //Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2013. №2 с. 46-51.
4. Патент № 2403564 РФ: МПК G 01N 29/14. Устройство для диагностики предельного состояния и раннего предупреждения об опасности разрушения материалов и изделий/ Васильев И.Е., Иванов В.И., Махутов Н.А., Ушаков Б.Н.; заявитель и патентообладатель Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, № 2009100183/28. 10.11.10, Бюл. № 31.
5. Махутов Н.А., Фомин А.В. Иванов В.И., Перьмяков В.Н., Васильев И.Е. Комплексная диагностика предельных состояний и раннего предупреждения аварийных состояний конструкций. //Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2013. №2 с. 46-51.
6. Матвиенко Ю.Г., Васильев И.Е., Иванов В.И., Елизаров С.В. Акустико-эмиссионные свойства оксидных тензоиндикаторов и распознавание сигналов при образовании трещин в хрупком слое покрытия. //Дефектоскопия. – 2015. № 2. С. 48-60.
7. Патент № 2649081 РФ: МПК С 1 **G01N 29/14** (2006.01). Способ мониторинга степени деградации структуры материала и определения остаточной прочности изделия/ Васильев И.Е., Матвиенко Ю.Г., Елизаров С.В., Чернов Д.В.; заявитель и патентообладатель Институт машиноведения РАН, № 2017109571, заяв. 22.03.2017, опубл. 29.03.2018, Бюл. № 10.
8. Патент № 2569078 РФ: МПК G 01N 29/14. Способ распознавания источников сигналов акустической эмиссии, возникающих при деградации материала, образовании трещин и разрушении конструкции/ Васильев И.Е., Матвиенко Ю.Г., Иванов В.И., Елизаров С.В. заявитель и патентообладатель Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, № 2014125453/28, заяв. 24.06.14, опубл. 20.11.2015, Бюл. № 32.
9. Матвиенко Ю.Г., Фомин А.В., Иванов В.И., Северов П.Б., Васильев И.Е. Комплексное исследование дефектов в изделиях из композиционных материалов с применением хрупких тензопокрытий и акустической эмиссии//Заводская лаборатория. – 2014. № 2. с. 46-52.
10. Матвиенко Ю.Г., Васильев И.Е., Панков А.В., Трусевич М.А. Ранняя диагностика зон повреждения и вероятного разрушения композиционных материалов с использованием хрупких тензоиндикаторов и акустической эмиссии. // Заводская лаборатория. – 2016. № 1. С. 45-57.

11. Иванов В.И., Барат В.А. Акустико-эмиссионная диагностика. М.: Изд-во «Спектр». - 2017. 368 с.
12. Фундаментальные и прикладные проблемы комплексной диагностики. Многотомная серия «Безопасность России». М.: МГОФ «Знание». - 2017. 902 с.

Сведения об авторах

Николай Андреевич Махутов - проф., д.т.н., главный научный сотрудник ООО «НИИ Транснефть», Россия, Москва, 117186, Севастопольский проспект, д. 47а. Тел. факс – 8 (495) 9308078, e-mail: kei51@mail.ru

Валерий Иванович Иванов – проф., главный научный сотрудник ЗАО «НИИИН МНПО Спектр», Россия, Москва, 119048, ул. Усачева, д. 35, стр. 1 Тел. – 8 (499) 1355211, e-mail: ivi444@ mail.ru

Игорь Евгеньевич Васильев – старший научный сотрудник Института машиноведения РАН, Россия, Москва, 101990, Малый Харитоньевский пер., д. 4. Тел. – 8 (499) 1355211, e-mail: vie01@ rambler.ru

Дмитрий Витальевич Чернов – младший научный сотрудник Института машиноведения РАН, Россия, Москва, 101990, Малый Харитоньевский пер., д. 4. Тел. – 8 (499) 1355211, e-mail: chernovdv@inbox.ru

УДК:004.896: 51-74

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, РИСКИ

Доктор техн. наук *Р.А. Дурнев,* кандидат психол. наук *К.Ю. Крюков,*
кандидат техн. наук *А.Е. Титов*
ФГБУ РАРАН

И.В. Жданенко
ФГБУ ВНИИ ГОЧС

Рассмотрено состояние развития слабого и сильного искусственного интеллекта. Определено, что методы слабого искусственного интеллекта являются частью автоматизации и применяются только в алгоритмизированном пространстве. Сильный искусственный интеллект должен решать творческие задачи в неалгоритмизированном пространстве. Установлены основные проблемы и ограничения, перспективы реализации и риски направлений создания сильного искусственного интеллекта.

Ключевые слова: искусственный интеллект, алгоритм, автоматизация, мышление, неокортекс, нейроны, биокибернетические системы.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE:PROBLEMS, PROSPECTS, RISKS

Dr. (Tech.) *R. Durnev,* Ph.D. (Psychol.) *K. Kryukov,* Ph.D. (Tech) *A.E. Titov*
Federal State Budgetary Institution "Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences"

I. Zhdanenko
All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies

The state of development of weak and strong artificial intelligence is considered. It is determined that the methods of weak artificial intelligence are part of automation and are used only in algorithmic space. Strong artificial intelligence should solve creative problems in non-algorithmic space. The main problems and limitations, the prospects for implementation and the risks of creating strong artificial intelligence are established.

Keywords: artificial intelligence, algorithm, automation, thinking, neocortex, neurons, bio-cybernetic systems.

Модная, в очередной раз, идея искусственного интеллекта (ИИ) находит всё больше сторонников в среде журналистов и ученых, обывателей и управленцев, военных и людей мирных профессий. Часто приводятся многочисленные рассуждения о проблемах и перспективах его применения в различных областях, выгодах и рисках, с ним связанных. При этом, как и с понятиями "жизнь, "знание", "управление" и т.п., "искусственному интеллекту" трудно дать конструктивное определение. Это связано, в том числе и с тем, что составляющие его части "искусственный", "интеллект", а также близкие "разум", "мыслительные процессы" и т.п. отданы на откуп философии. А философы в затруднении в связи с дефицитом знаний о мозге и когнитивном (познавательном) аппарате биологических систем. Поэтому и существует огромное количество определений ИИ, ни одно из которых не является общепринятым. Один из апологетов ИИ Марвин Мински называл такие понятия "словами-чемоданами" со многими смыслами. Нам больше нравится аналогия с облаком, которое на расстоянии имеет четкие очертания, а вблизи - туман.

Но несмотря на это, многочисленные разработчики заявляют об интеллектуальных гаджетах, бытовой технике, транспортных системах, комплексах вооружения. Насколько это правомерно и как к этому относиться - мы попробуем разобраться в этой статье.

Первое, о чем нужно сказать - в основном всё, что сейчас разрабатывается в рассматриваемой области - это только "слабый ИИ". Слабым его назвали потому, что, с одной стороны, он далеко "не дотягивает" до человеческого, но с другой - это не вполне обычное программное обеспечение на компьютере. Хотя большинство задач, решаемых им - это оптимизация решений (нахождение наилучших в каком-то смысле), классификация объектов (разбиение множества на классы в соответствии с критериями), экстраполяция данных (нахождение промежуточных значений) и для этого существуют традиционные методы. Но сами алгоритмы "слабого ИИ" приобрели антропоморфные (очеловеченные) черты. Они либо копировали биологические процессы (например, сеть нейронов в мозгу человека, как у Мак Каллока-Питса, или эволюционные алгоритмы, как у Д. Холланда), либо позволяли оперировать с рассуждениями на естественном языке (например, теория нечётких множеств Л.Заде). И хотя процесс получения результатов стал более эффективен, но их основу составляли те, же алгоритмы, которые возможно запрограммировать на компьютере в виде последовательности нулей и единиц. Недаром многие специалисты говорят о том, что методы "слабого ИИ" - это не "подглядывание" за природой, а формализмы машинного обучения [1].

Поэтому методы "слабого ИИ" работают только в ситуациях, которые входят в алгоритм. Даже глубокое обучение нейросетей - это просто отладка и коррекция алгоритма. И в целом все методы "слабого ИИ", наряду с исследованием операций, системным анализом, теорией принятия решений, кибернетикой, являются составляющими автоматизации, т.е. процессов, выполняемых без участия человека.

Нет смысла говорить о тех успехах, которые достигла автоматизация - почти всё вокруг нас либо работает в автоматизированном режиме либо создано автоматизированным способом. Однако у автоматизации есть принципиальная особенность (судя по её успехам - не хочется говорить недостаток) - она не работает в неалгоритмизированном пространстве, в таком, где четко не определены все шаги и их порядок. Поэтому число ситуаций, доступных ей, ограничено, и для того, чтобы осваивать всё их бесконечное разнообразие - автоматизации нужно беспредельно долго развиваться.

Автоматизации не доступны не только многие ситуации, но и различные действия, связанными с ними. Например, основной проблемой автоматизации военного управления, наряду с разнородностью, слабой согласованностью и взаимосвязанностью различных её звеньев, является то, что современными средствами практически невозможно исключить человека в сугубо творческих процессах планирования действий и тем более формирования целей действий, целеполагании.

Методы "слабого ИИ" (принадлежащие, как мы определили, к автоматизации) существуют без серьезных изменений уже много лет. Даже популярные сегодня в техническом зрении сверточные нейросети были предложены тридцать лет назад. И весь современный бум их использования связан не столько с научными достижениями, сколько с инновационными технологиями, т.е. коммерциализацией ранее полученного знания. А сама эта коммерциализация является следствием закона Мура, в соответствии, с распространенной трактовкой которого каждые два года (это верно для сегодняшнего времени) в два раза увеличивается производительность компьютеров.

Если говорить более корректно, то речь идет не столько о росте производительности, сколько о миниатюризации микроэлектроники, о росте количества транзисторов на кремниевой микросхеме заданных размеров. Но так как из года в год мы являемся свидетелями того, что по размерам наши персональные ЭВМ практически не меняются (или меняются не так значительно - не на порядки, что связано, в том числе и с эргономикой), а их характеристики постоянно улучшаются в разы, то и возникает иллюзия роста только производительности.

Аналогично и для методов "слабого ИИ" весь прогресс связан, в основном, с ростом возможностей микроэлектроники. Так, появление на рынке компьютерных игр мощных видеокарт подвигло специалистов по нейросетям к их использованию в своих нуждах. Это определялось тем, что в основе нейросетевых технологий лежат матричные вычисления - необходимо постоянно перемножать и складывать огромные таблицы сигналов, приходящих к нейронам, их весов, ошибок и других элементов. И если для обычных центральных процессоров это достаточно трудоемкие операции, то для графических процессоров, изначально работающих в матричном пространстве пикселей, это "родная" задача.

Еще одна иллюзия прогресса "слабого ИИ" связана с увеличением компактных устройств, наделенных элементами «разумного поведения» (гаджеты, «умная» бытовая техника, системы навигации и управления современных автомобилей). Причиной этого является увеличение их мощности до таких величин, которая раньше была доступна только большим ЭВМ, на которых отрабатывались ранее разработанные алгоритмы.

Но даже эмпирический закон Мура, продолжающий "выкачивать" из кремния все возможности, уже не так очевиден. К примеру, возникновение "многоядерности" процессоров говорит о том, что дальнейшая миниатюризация микроэлектроники близка к пределу. Аналогично, недалека от естественной границы и длина волны ультрафиолетового излучения, с помощью которого "наносят трафарет" на кремниевой пластине. Чем меньше эта длина, тем меньше получаются транзисторы. Так вот, используется практически

минимально-возможная длина волны, дальше свет перейдет в рентгеновский или гамма-диапазон. А в этом диапазоне уже меняются свойства кремния, делающие невозможным его использование в микроэлектронике.

Еще более категоричные доводы сводятся к тому, что в ближайшее время один из размеров транзистора на кремнии будет составлять всего 10-20 атомов. А в этих условиях наибольшую роль будут играть уже квантово-механические эффекты, связанные с различными неопределенностями (в траектории электронов, их импульсе, вероятности нахождения в определенной области и др.), которые невозможно будет разрешить на современном уровне развития науки и техники. Поэтому очередное крутое развитие "слабого ИИ" (а значит и автоматизации) в недалёкой перспективе сменится более пологими изменениями.

Мы достаточно подробно поговорили об очередной грани автоматизации - "слабом ИИ", а как же быть с "сильным ИИ"? Ведь именно он и должен решать творческие интеллектуальные задачи, являющиеся прерогативой человека, работать в неалгоритмизированном пространстве, с различными неформализованными ситуациями.

Для решения таких задач разработка "сильного ИИ" может вестись по следующим направлениями:

разработка ИИ в виде программ на ЭВМ;

усовершенствование человека с целью повышения его когнитивных способностей;

создание биокибернетических систем, служащих подспорьем человеку в его мыслительных процессах.

Для реализации первого направления активно разрабатываются структурные модели мозга, в основном коры его больших полушарий, так называемого "неокортекса". В этих моделях, часто именуемых "коннектомами", делаются попытки определить место всех нейронов (а их у человека около 100 млрд.) со всеми их связями (порядка 10-15 тыс. на один нейрон). Для этого сейчас применяются методы магнито-резонасной и позитронно-эмиссионной томографии, электроэнцефалографии, делаются тончайшие срезы мозга, изучаемые под микроскопами. В будущем планируется цифровизация нейронов и их связей с помощью нанороботов и даже нейрохирургическая замена нейронов в мозгу транзисторами в компьютере. Несмотря на масштабность таких проектов, громкие заявления исследователей серьезных успехов пока не наблюдается. "Коннектомы" некоторых простейших существ известны уже много лет. Так, структурная модель мозга нематоды - маленького полупрозрачного червячка - существует уже около 30 лет. В ней учтены все 302 нейрона этого существа со всеми их связями [2]. Однако за такой период ученые так и не научились "оживлять" эту модель, которая больше напоминает словарь без значений слов.

Еще в большей степени это относится к мозгу более сложных животных, а тем более к мозгу человека. Даже простая его структуризация потребует десятков лет кропотливого труда, не говоря уже об использовании такой гигантской модели для имитации сложных мыслительных процессов.

Другим путем создания "сильного ИИ" в виде программы на ЭВМ является разработка функциональных моделей мозга. Человечество уже давно проявляет огромный интерес к своей мыслительной деятельности. И за неимением технологий (диагностических, сканирующих, компьютерных и других) исследователи создавали то, что им было доступно - мысленные модели мыслительных процессов, адекватность которых в более позднее время стали проверять различными психо-физиологическими экспериментами, тестами, опросами и т.п. И таких моделей было разработано огромное количество практически во всех сферах человеческой деятельности. Нет смысла приводить их даже самую грубую классификацию, это будет многотомное издание. Из последних таких моделей наиболее системной, на наш взгляд, является запоминающе-прогностическая модель Дж. Хоккинса [3], в которой рассматриваются алгоритмы восприятия сенсорных сигналов, способы запоминания окружающего мира, принципы формирования прогнозов мышления и действий и даже то, что отличает человека от животного - интроспекция или самоанализ, т.е.

осознание самого себя, своих собственных мыслей. Об этой модели упоминает такой известный футуролог, специалист по ИИ, как Рэй Курцвейл [4]. На рубеже 2010 года он говорил о том, что данная модель переводится в машинный код и её планируется запустить на компьютере. Но после этого никакой информации, ни об успехах этого процесса, ни о его неудачах, к сожалению, не было.

В целом, говоря о создании "сильного ИИ" в виде программы на ЭВМ следует отметить, одной из проблем являются вычислительные ограничения при решении даже слабо интеллектуальных задач, таких, какие легко решают маленькие дети. Так, для распознавания кошачьих мордочек Cat Detector от Google использовал 1000 серверов с 16 000 ядер [5]. "Умный" вертолет, который умел бы выполнять эту крайне узкую функцию, с таким набором аппаратуры не смог бы подняться в воздух. Аналогично трудно себе представить компактное устройство (например, андроидный робот), который может играть с человеком в шахматы или игру Го. В первом случае в этот робот пришлось бы запихнуть несколько шкафов суперкомпьютера Deep Blue компании IBM, выигравшего у Г. Каспарова в 1997 г., во втором - 1920 CPU (центральных процессоров) и 280 GPU (графических процессоров), победивших Ли Седоля в 2016 году, и это практически на предельных возможностях кремния! При этом и компьютеры и соответствующее программное обеспечение узкоспециализированы - умеют только играть в свои дискретные игры с полной информацией, игры, для которых важна только текущая позиция и не значима предыстория. Для них крайне эффективны различные переборные методы с дополнительными правилами, как эти переборы сокращать. В более сложных играх, например, в покер, уже требуется память ходов, ставок, возможностей игроков, да ещё и умение блефовать, поэтому здесь ИИ не так силен.

Для логического вывода и доказательства математических утверждений также нет алгоритмов существенно лучше полного перебора возможных логических цепочек. Но если для доказательства теоремы, состоящего из 5 строк, требуется перебрать не так уж и много вариантов, то для 50 строк этих переборов нужно сделать столько, что может не хватить и всего времени существования Вселенной [6].

Ведущие игроки микроэлектроники (Intel, AMD и др.) давно уже озабочены "пределом кремния", поэтому, активно занимаются поиском путей решения этой проблемы. Это создание трехмерных транзисторов, использование не-кремниевых материалов (например, графена), развитие обратимых и квантовых вычислений и т.п. Но все эти пути, как это часто бывает при эволюционном развитии техники, помимо очевидных преимуществ, например в быстродействии, обладают и серьезными недостатками. Так, трехмерные транзисторы, работают как обогревательные приборы, не-кремниевые материалы чувствительны к параметрам тока, квантовые вычисления критичны к нарушению когерентности состояний элементарных частиц.

Но даже если указанные недостатки будут преодолены, то все равно через некоторое время мы подойдем к пределу трехмерных транзисторов, графена или наноуглеродных трубок и опять начнется поиск очередных путей повышения производительности или более точно - соблюдение массо-габаритных параметров компьютеров, соответствующих нуждам человека. Ну а если при наступлении пределов каких-то материалов не будут найдены приемлемые решения - компьютеры будут увеличивать свою массу, расти вширь, все больше потреблять энергии. А так как человек решает все более сложные задачи и в своем любопытстве никогда себя не ограничит, вычислительные машины, для вычисления невообразимого числа знаков после запятой в числе пи, могут, по шутливо-серьезному сценарию того же Р. Курцвейла, поглотить энергию всей Вселенной...

Но, пожалуй даже это не самое главное - все указанные разработки будущего (трехмерные транзисторы, графен и др.) работают только с алгоритмами, состоящими из нулей и единиц или большего числа таких состояний в квантовом компьютере (за счет различных сочетаний нулей и единиц, их суперпозиций). И именно алгоритмы (вернее - их предельность) и являются камнем преткновения на пути создания "сильного ИИ".

В общем смысле под алгоритмом понимается конечный набор упорядоченных шагов. Следует обратить внимание на то, что хотя набор шагов и конечен, но процесс их выполнения может не иметь предела (так называемая проблема "останова") или просто непонятно - возможно ли получить данным алгоритмом результат за конечное время? В качестве примера можно привести алгоритм, пытающийся доказать, что все чётные числа являются суммой двух простых (которые делятся без остатка только на себя или единицу). Не понятно, завершит ли компьютер когда-нибудь такое доказательство?

Если решение задачи может быть выражено в виде алгоритма, она является разрешимой (вычислимой). Именно для таких задач и была разработана концепция универсальной машины Тьюринга, которая наряду с принципами архитектуры Дж. Фон Неймана, привела к бурному развитию электронно-вычислительных машин. Вообще считается, что компьютеры – это физическое воплощение концепции алгоритма, которое было введено для формализации мышления в процессе решения математических и иных задач [6].

Но является ли мыслительный процесс вычислимым, можно ли его представить в виде алгоритма? Знаменитые теоремы Гёделя о неполноте свидетельствуют, что нет. Даже в арифметике, оперирующей только натуральными числами и являющейся, наверное, самой строгой частью математики, которая в свою очередь является самой строгой областью человеческих знаний, не всегда можно доказать теоремы исходя из системы аксиом. Сами по себе аксиомы - исходные положения, от которых "пляшет" математик. Они элементарны в том смысле, что не доказываются, принимаются на веру, интуитивно. Например, одной из аксиом евклидовой геометрии является следующая: через две точки можно провести единственную прямую. Трудно придумать какие-то более элементарные положения, которые позволят доказать эту аксиому. Можно, правда, углубиться в строгие определения "точки" и "прямой", но таким образом мы, пожалуй, в принципе ничего не сможем познать в окружающем бесконечно разнообразном мире нашим ограниченным разумом.

Так вот, в упрощенной формулировке теоремы Гёделя утверждают, что в рамках заданной системы аксиом найдутся положения, которые невозможно ни доказать, ни опровергнуть. А следствием этому является вывод о том, что не существует алгоритма, который мог бы во всех случаях проверить истинность или ложность арифметического высказывания. Ну а если продолжить эти рассуждения применительно к нашей тематике можно утверждать, что нельзя запрограммировать компьютер так, чтобы можно было доказать произвольную теорему. А произвольной является великая теорема Ферма или гипотеза Пуанкаре, про которые компьютер, в отличие от людей (Э. Уайлса, Г. Перельмана), ничего "сказать" не может в рамках алгоритмического пространства, т. е. заданной ему программистом или найденной им самостоятельно в Интернете системы аксиом. Не поспособствует и самостоятельное формирование им аксиом, например с помощью генетических алгоритмов. Ведь аксиом можно придумать огромное (бесчисленное) множество, но чтобы доказать теорему - его нужно сузить до полной и непротиворечивой системы. Это сделать алгоритмически нельзя и прежде всего потому, что простым перебором за конечное время эту задачу не решить. Например, для автоматического доказательства теорем в пять строк (примерно одно правило и пять аксиом) требуется перебрать 3125 вариантов, а в пятьдесят строк – $8{,}9\times10^{34}$ вариантов [6]! Что же говорить о доказательстве Великой теоремы Ферма, занявшей несколько сот страниц?

Человек же творчески, интуитивно (непознаваемо) создает эвристики, правила, упрощающие перебор, снижающие размерность задачи. Но сам процесс нахождения этих эвристик - тоже безразмерный в связи с их бесчисленным числом. В этом случае компьютеру необходимо научиться находить сверх-эвристику, число которых тоже бесконечно. Для упрощения нахождения нужных сверх-эвристик необходимо найти сверх-сверх-эвристику и так до бесконечности...

Повторимся, всё это в полной мере относится даже к "строгой" математике, где, казалось бы, всё и вся можно доказать. Ну а тем более это применимо к более размытой об-

ласти естественных наук, зыбкой области гуманитарных наук и совсем уж неопределенной житейской области (которая включает в себя и математику и химию и социологию отношений и традиции и ненормативную лексику и т.п.). Пример из естественнонаучной дисциплины - для физики притяжение между двумя телами уменьшается согласно квадрату расстояния. Несмотря на признание этого положения законом и облечение в аналитическую зависимость, по сути - это всего лишь предварительное утверждение, поскольку невозможно проверить силу гравитационного притяжения для всех пар тел, существующих во Вселенной, на всех возможных расстояниях. Т.е. это утверждение истинно, пока не найдена будет ситуация, где оно не работает.

Что уж говорить о том, что компьютеры совсем не приспособлены для придумывания идеальных миров, не имеющих аналогов в прошлом и возможностей в будущем, например движение в мире без силы трения (Ньютон) или погоня за лучом света (Эйнштейн)?

Обо всем этом много говорил Р. Пенроуз [8], приводя примеры хорошо структурированных математических или физических задач, не имеющих общего аналитического решения, но о которых человек, в отличие от компьютера, может сделать вполне определенные выводы. Это, к примеру, решение диофантовых уравнений, замощение плоскости правильными плитками-многоугольниками, гравитационное взаимодействие трех тел и др. Он связывает это с невычислимостью сознания, которая, в свою очередь, зависит у него от неопределенности квантово-механических эффектов, происходящих в микротрубочках цитоскелета нервных клеток головного мозга...

Но, пожалуй, это слишком далеко уведет от нашей темы, поэтому можно просто сделать вывод о том, создание сильного ИИ в виде программы на ЭВМ в принципе не возможно. Хотя когда-нибудь человечество на каких-нибудь супермощных вычислительных устройствах запустит программу, которая будет объединять практически всё, что возможно алгоритмизировать, например, в военной сфере - и расчет траектории полета снаряда, и распознание комплексов вооружения противника и принятие решения командиром и допрос пленного и многое другое. И судя по тому, что на многие вычислительные вопросы у такой программы будут ответы, то возникнет иллюзия искусственного интеллекта. Но в действительности это будет автоматизированная система, которая попадая в новую, ранее не встречавшуюся и, поэтому не алгоритмизированную ситуацию, не сможет с ней справиться. И здесь человеку опять придется потрудиться и над самой ситуацией и над включением её в алгоритм.

Конечно, можно дальше продолжить совершенствование такой глобальной автоматизированной системы и научить её самостоятельно создавать новые алгоритмы под новые ситуации. Но каждый раз целевая установка алгоритмизации будет исходить от человека, он будет являться работодателем у послушного, очень производительного, многофункционального, но не способного к творчеству работника.

Вторым направлением создания "сильного ИИ", т.е. интеллекта, достигаемого не естественными, природными причинами, и который будет сильнее обычного человеческого - это повышение когнитивных способностей Homo sapiens. И здесь нужно сказать о параметрах мозга человека, которые изменялись в период эволюционного развития, и сейчас достигли физического предела. Во-первых, это скорость вычислительных элементов. Для биологических нейронов пик составляет около 200 Гц, что на семь порядков медленнее современных микропроцессоров. Во-вторых, скорость внутренних коммуникаций. Аксоны передают сигнал со скоростью менее 120 м/с, в то время как оптические линии ограничены скоростью света. В третьих, количество вычислительных элементов и связанный с ним объем памяти. Для человека это, как мы говорили ранее, около 100 млрд. нейронов, для компьютеров существуют только ресурсные ограничения (по площади или пространству, доступной энергии и т.п.). При этом в кратковременной памяти человек может удержать одновременно 5-9 блоков информации, а объем его долгосрочной памяти ограничен примерно миллиардом битов. Очевидно, что у компьютеров аналогичные показа-

тели намного превышают людские. Можно привести ещё и параметры надежности, точности, работоспособности, восстанавливаемости и т.п.

По всем указанным параметрам "углерод" будет значительно уступать "кремнию". И улучшение этих параметров естественным путем не предвидится. Для условий окружающего мира, которые сопровождали человека до последнего времени, это был своеобразный "оптимум финишного изделия", причем оптимум с технико-экономической точки зрения. Природа всегда рациональна и действует по принципу бритвы Оккамы - "не плодит сущностей без надобности". Поэтому скорость передачи электрохимических сигналов нервными клетками в высокой степени соответствует скорости изменения самого внешнего мира (быстроты изменения погоды, реакции опасных для человека животных и т.д.). Для эволюционных механизмов не было смысла ускорять мышление во много раз при изначальной инертности, статистической устойчивости окружающей среды.

Также емкость памяти и размеры мозга определяются изначальным размером черепной коробки младенцев и связанных с ней размером родовых путей, а также большими метаболическими затратами на поддержание мозга. Вес последнего составляет всего около 2% веса тела при потреблении 20% вдыхаемого кислорода. Кроме того, большие размеры мозга привели бы задержке обмена сигналами между различными его зонами, потребовали изменения системы охлаждения и питания (кровеносной системы) и т.п.

Поэтому человек, достигнув преимущества перед другими видами живых существ, остановился в эволюционном развитии. Но так было до недавнего времени, когда его окружала относительно статичная, прогнозируемая природа. И даже антропогенное воздействие на неё до последнего времени практически не изменяло скорости происходящих в ней процессов.

Мы уже несколько раз упомянули "до последнего времени" и это, безусловно, преднамеренно. Ведь в последнее время всё меняется настолько быстро, что мы сами стали способны эмпирически, опытно подмечать эти изменения, не сравнивая различные абзацы всевозможных исторических хроник. Мало того, что нас стал окружать чужеродный техногенных мир, напичканных шагающими экскаваторами и атомными электростанциями, автомобилями и самолетами, гаджетами и миксерами, синтезированными веществами и электронными микросхемами. Даже родной, устойчивый природный мир стал флуктуировать под натиском новой геологической силы современности - человека. Мы, к сожалению, являемся свидетелями глобального потепления, увеличения частоты и масштабов стихийных бедствий, скорости изменения погоды. В этой связи человеку для выживания и устойчивого развития также необходимо меняться, чтобы соответствовать скорости изменения окружающего мира. Но естественный процесс эволюционных изменений длителен, и сопряжен с "выбраковкой не эффективных особей". Поэтому и возникла идея искусственного усовершенствования человека, который будет адекватен современным реалиям. Мы не будем говорить обо всем спектре таких возможных изменений, а поговорим только об улучшении когнитивных, познавательных, мыслительных, а значит и интеллектуальных наших способностей. Путь этот долгий, трудоемкий и не очень эффективный - серьезного повышения уровня интеллекта достичь, по видимости, не удастся. Но, в, то, же время, более интеллектуальные ученые могут быстрей создать "сильный ИИ".

Об улучшении природы человека говорится уже давно. И также давно предлагается широкий диапазон способов такого улучшения - от духовно-нравственного воспитания практически во всех основных верованиях человечества до селекции Homo sapiens в рамках различных теорий неодарвинизма. Так, в мировых религиях в том или ином виде говорится о том, что человек создан по образу и подобию Творца. Но если образ дан ему изначально, то подобие достигается в течении всей его жизни. Подобие во всех свойствах и качествах, в том числе в разуме и мудрости. И чтобы быть разумным человек должен познавать окружающий мир во всем своем многообразии и красоте. Для этого и дано ему любопытство, настолько сильное, что это привело к запретному познанию добра и зла и изгнанию из рая. Может быть с библейским событием и связан (не исторически, не

в плане хронологии, а скорее метафорически, аллегорично) всплеск интеллектуальных возможностей далеких прародителей людей. В более близкий к нам период уже апостол Павел в своих посланиях говорит о том, что надлежит быть разномыслиям дабы выявились искуснейшие. Искуснейшие - в способности познания, анализе фактов, в споре за истину, т.е. в значительной степени в интеллектуальной деятельности.

Поэтому уже очень давно известно, что познание, т.е. получение нового знания, обучение является основным способом улучшения интеллекта. В ходе познавательных процессов мозг меняется. Хотя новых нейронов в нём не образуется, но изменяются связи между ними. В отличии от компьютера мозг способен заново прокладывать нервные пути всякий раз, когда усваивается новая информация. Поэтому развить, или более осторожно - скорректировать, когнитивные возможности можно.

Другим направлением повышения интеллектуальных способностей, характерным для некоторых стран, является улучшение питания, особенно детей, устранение различных нейротоксичных соединений. Это будет влиять на здоровье, в том числе умственное, людей, на улучшение генофонда.

Более технологичные способы связаны с деактивированием различных частей мозга, что позволяет улучшить некоторые интеллектуальные способности. Примером для реализации такого способа явились "саванты" - люди, получившие, к сожалению, какие-то мозговые травмы, приобретя при этом сверхгениальные способности в очень узких интеллектуальных областях. Метод транскраниальной магнитной стимуляции позволяет заглушить левую височную долю и орбитофронтальную кору. На сегодняшний день это позволяет привести к незначительным улучшениям отдельных функций интеллекта на очень непродолжительное время, как утверждают исследователи - из-за грубого метода, не развитых технологий и других причин.

Следующим направлением является усиление памяти лекарственными препаратами. Считалось, что забывание - это пассивная, самопроизвольная деградация воспоминаний. Но сейчас установлено, что забывание - тоже активный процесс, требующий, в том числе, участия нейромедиатора дофамина.

Следует отметить, что у компьютера этот процесс тоже активен - в ячейках памяти старая информация стирается и заменяется новой. Это ведет к упорядочиванию системы "компьютер - источник питания", т.к. мир из-за наших расчетов становится более предсказуемым, менее хаотичным, что ведет к понижению энтропии информации. Но в замкнутой системе энтропия не может снижаться, поэтому понижение информационной энтропии ведет к повышению энтропии термодинамической, т.е. к увеличению тепла. Такой процесс приводит к серьезному нагреву микросхем и поэтому современный компьютер в большей степени работает, как обогревательное устройство, рассеивающее тепло. Желая с большей пользой использовать его вычислительные мощности, даже разработана теория обратимых вычислений, реализация которой позволит превратить хаотичное тепло в упорядоченные расчеты, но это, пожалуй, отдельная тема.

Так вот, есть лекарственные препараты, подавляющие процесс забывания. Это улучшает когнитивные способности человека за счет возможности оперирования большими объемами информации.

Лекарственное улучшение когнитивной сферы касается не только памяти, но и других свойств интеллекта, стимулировать который можно ноотропными средствами, нейрометаболическими стимуляторами. Но действие их кратковременно, не стабильно, обладает множеством побочных эффектов, и не позволит обеспечить устойчивый рост мыслительных способностей. Всё-таки для улучшения функциональности мозга требуется "бережный баланс, тонкая настройка и тщательная культивация", а не подкормка чудодейственным зельем.

Известно так же то, что введение стволовых клеток в гиппокамп способствует улучшению памяти, мыслительных процессов. Но эти волшебные клетки способны, к сожалению, неожиданно превращаться в злокачественные, приводящие к онкологическим заболеваниям.

Кроме того, в результате многолетних генетических исследований, ученые обнаружили существование участков генов, отвечающих за гигантское ускорение эволюции человека за последние 6 млн. лет, т.е. период, когда выявилось коренное отличие людей от человекообразных приматов. Эти исследования породили различные идеи о том, что вызвав мутации генов, отвечающих за интеллект, можно увеличить количество серого вещества, увеличить площадь неокортекса и повысить интеллект человека. Но всё это не так очевидно, т.к. площадь поверхности и объем новой коры полушарий головного мозга у дельфинов, слонов, кашалотов и некоторых других млекопитающих больше, чем у человека, чего не скажешь об уровне мыслительных способностей (или может мы просто не можем по-настоящему измерить этот уровень?).

Много сказано и об итеративной селекции эмбрионов, позволяющей их "конструирование" с идеально точным сочетанием генетических данных родителей, и генной модификации соматических клеток взрослого человека и многим другим направлениям создания генетически модифицированного Homo sapiens. Сейчас современное общество негативно относится даже к генетической инженерии сельскохозяйственных продуктов, не говоря уже о животном царстве. Но такое отношение может перемениться. Ведь эволюция человека, закончившись на биологическом уровне, продолжается на социальном, изменяя мораль общества, нормы поведения, устои и мировоззрение. Вспомним про изменение отношения к пыткам и смертной казни или к сексуальной ориентации и процедуре экстракорпорального оплодотворения.

Также может измениться и отношение к генетическим изменениям эмбрионов. Так, к примеру, демографическая политика ряда стран, в которых наблюдается высокие значения показателя воспроизводства населения и не очень высокие уровни доходов, может привести к тому, что их граждане начнут стремиться к рождению меньшего количества детей. В связи удешевлением генетических технологий многие могут пожелать, чтобы это меньшее количество детей было бы более интеллектуальным. При этом если на начальном этапе и возникнет расслоение населения на тех, кто пойдет таким путем и кто отвергнет его, то в будущем оно довольно быстро может исчезнуть в связи размыванием строгих этических норм. Ведь последствием этого расслоения будут успеваемость в школе и университете, профессиональная успешность, размеры доходов и многие другие составляющие базовых потребностей людей. А повышение среднего интеллектуального уровня граждан какой-либо страны отрицательно скажется на балансе различных геополитических игроков (более умная нация будет обладать более совершенным вооружением). А это, в свою очередь, вместе с желанием создать, в том числе, совершенных солдат будущего, вызовет гонку вооружений в когнитивно-физической сфере человека, и искусственно переведет его из класса млекопитающих (Mammillae) уже в совершенно новый класс "технородящих" (Artificially borning) [9].

Последствиями такого негативного сценария может быть радикальное изменение нашего мира. Даже с помощью традиционных технологий он стал неузнаваем, превратился во "вторую природу". А ведь они, в основном, касались только внешней среды. Изменение же внутренней среды самого человека наверно даже нельзя будет выразить никакой метафорой типа "ящик Пандоры" или "новый Армагеддон". Изменится сама суть человека, поэтому и говорить в рамках рассматриваемого пути о создании искусственного интеллекта, подобного человеческому, будет бессмысленно.

И так, у нас остается третий путь - создание биокибернетических систем, служащих подспорьем человеку в его мыслительных процессах и совокупность которых можно будет назвать его экзокортексом.

Уже сегодня существуют различные устройства, позволяющие облегчить страдания людей с различными невротическими, психическими и другими расстройствами. Они позволяют, например, мысленно набирать буквы на экране, синтезировать голос парализованного человека, снизить интенсивность и частоту изнурительных припадков эпилепсии, шевелить пальцами обездвиженной руки и многое другое. Для анализа

мыслительной деятельности людей применяются различные сканирующие устройства, томографы, вживляемые в мозг электроды. Безусловно, достижения наноиндустрии и микроэлектроники приведут в будущем к массовому применению на коммерческой основе подобных устройств. Причем не только для больных, но и для здоровых людей, например, солдат будущего.

Фантасты, футурологи и ученые, пытающиеся заглянуть за ближайшие горизонты развития технологий, предлагают большое количество таких устройств, предназначенных, в том числе и для развития когнитивных функций человека, например специальные шлемы с миниатюрным магнито-резонансным томографом и процессором для распознавания мыслей и мгновенной передачи в машинных кодах на любые расстояния.

Конечно, сегодня мы не можем распознать сами мысли - только их отражения в мозге: движение электрических зарядов, изменение химического состава крови или клеток и т.п. Сравнивая такие отражения (паттерны) с мыслями людей, можно устанавливать определенные взаимосвязи и применять их для "расшифровки" мыслей человека, а затем передавать, и принимать эту информацию без помощи звуков, жестов или письма.

При этом возникает естественный соблазн охватить подобными технологиями все когнитивные и эмоциональные способности человека. Прямой нейрокомпьютерный интерфейс позволит человеку использовать всю мощь машинных вычислений - идеально хранить, и получать информацию практически неограниченных объемов, с высокой скоростью проводить точные расчеты, практически мгновенно передавать данные на значительные расстояния. Такая биокибернетическая система должно превзойти мозг современного человека по всем характеристикам, стать своего рода сильным искусственным (или полуискусственным) интеллектом. Люди смогут общаться напрямую, передавая партнеру свои неискаженные мысли, образы, знания и опыт. Ну а следующий шаг - планетарная мозговая сеть Brain-net, в которой взаимодействие между людьми на этих принципах осуществляется уже на глобальном уровне...

Но, как всегда, у всех смелых мечтаний человека есть какие-то ограничения. Они могут нарушать законы природы (во всяком случае, открытую их часть, от слова "открытие") или быть тяжело воплощаемы с различных точек зрения. Например, техническая реализация прорывных устройств может натолкнуться на отсутствие материалов, сложности в переходе с лабораторного на производственный уровень (как программируемое вещество или лазерный термоядерный синтез), и, наконец, не экономическую нецелесообразность.

Развитие биокибернетических систем тоже будет связано с большими трудностями. Например, на современном этапе существуют значительные медицинские риски, связанные с внедрением имплантов в мозг - инфекции, кровоизлияния, другие нарушение мозговой деятельности, связанные с вмешательством.

Также, сегодня нет понимания как добиться непосредственного взаимодействия между мозгом и компьютером. Ведь мозг имеет совсем иные, по сравнению с компьютером, методы хранения и представления данных. Кроме того, у каждого из нас существуют свои уникальные способы формирования и передачи смыслов, которые зависят от житейского опыта, социокультурных условий, генетических факторов, особенностей физиологии и т.д. Смысловое значение информации представлено не дискретными логическими массивами ячеек памяти компьютера, а ассоциативными образами, сочетающими в себе информацию различных, иногда перекрывающихся или взаимозаменяемых (синестезия) зон коры головного мозга. При этом, по-видимому, для понимания одного человека другим, информацию нужно подвергать декомпозиции и переводу в некий универсальный символьный язык. Как при этом установить соответствие между группами нейронов двух людей, чтобы такие образы могли переходить от одного человека к другому пока совершенно неясно.

Еще один вопрос - сможем ли мы на самом деле эффективно повысить уровень нашего интеллекта? Так, обеспечив доступ мозга к существенно большему объему информации, мы можем столкнуться с ограничением скорости ее обработки, которая, в свою очередь, зависит

от скорости прохождения нервного импульса. В итоге придется "апгрейдить" механизм такой обработки с учетом всех физиологических процессов организма.

И, наконец, если в будущем мы сможем создавать подобные нейроморфные интрефейсы, это очевидно изменит сложившуюся систему межличностных отношений, моральных устоев, переформатирует социокультурную среду. Но когда это будет, как это будет, не изменимся ли мы сами? И готовы ли мы к такому преображению? И судя по обилию подобных вопросов это ещё только начало пути...

Можно долго продолжать рассуждать об искусственном интеллекте, тема эта неисчерпаема как мироздание. Эйнштейн однажды остроумно заметил, что в мире есть две бесконечные вещи - Вселенная и человеческая глупость, хотя в первом он не вполне уверен. Ну а человеческая глупость - это какая-то лишь сторона интеллекта или, вернее, уровня его развития. И если уж сторона бесконечна, то что и говорить о всей многосторонней фигуре, которой является интеллект и его антропоморфизм - искусственный интеллект?

В заключении хотелось бы отметить, что авторы отдают себе отчет в том, что вышеприведенные рассуждения не претендуют на серьезное приближение к истине. Поэтому мы приветствуем любую критику и тем более дискуссию в этом вопросе. Только спор рождает истину, которая проверяется практикой.

Литература

1. Николенко С., Кадурин А., Архангельская Е. Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей. СПб: Питер. - 2018.

2. Каку Митио. Будущее разума. Пер. с англ. М.: Альпина нон-фикшн. - 2018. - 502 с.

3. Дж. Хоккинс. Об интеллекте. Пер. с англ. М.: ООО «И.Д.Вильямс». - 2007.- 240 с.

4. Р. Курцвейл. Эволюция разума, Или бесконечные возможности человеческого мозга, основанные на распознавании образов. Пер. с англ. М.: Эксмо. - 2018.-352 с.

5. Что мы думаем о машинах, которые думают: Ведущие мировые ученые об искусственном интеллекте / Джон Брокман; пер. с англ. М.: Альпина нон-фикшн. - 2017, - 324 с.

6. Н. Бостром. Искусственный интеллект. Этапы. Угрозы. Стратегии. Пер. с англ. М.: Манн, Иванов и Фербер. - 2016.-496 с.

7. Потапов А.С. Искусственный интеллект и универсальное мышление. СПб.: Политехника. - 2012. - 711 с.

8. Пенроуз Р. Тени разума: в поисках науки о сознании. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований. - 2005. - 688 с.

9. Новые технологии и продолжение эволюции человека? Трансгуманистический проект будущего. М.: Издательство ЛКИ. - 2008. -320 с.

Сведения об авторах

Дурнев Роман Александрович, доцент, заместитель начальника научно-исследовательского управления ФГБУ РАРАН, тел.: 8 (903) 258-67-16, E-mail: rdurnev@rambler.ru, SPIN-код: 3267-1337

Крюков Кирилл Юрьевич, руководитель секретариата Совета главных конструкторов по системе вооружения сухопутной составляющей сил общего назначения ФГБУ РАРАН, тел.:8 (499) 160-29-33, E-mail:raran@bk.ru

Титов Андрей Евгеньевич, директор научного центра авиационной техники и вооружения. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российская академия ракетных и артиллерийских наук» (ФГБУ РАРАН), г. Москва, 1-я Мясниковская ул., д.3, стр.3. e-mail: tigra_zver_tam@mail.ru, 8 (925) 193-78-56.

Жданенко Ирина Васильевна, старший научный сотрудник ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), тел.: +7(909)953-56-59, E-mail: izhdanenko@yandex.ru, SPIN-код:7747-6337

УДК. 629.735. 681.518.5

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РУЛЕВОГО ПРИВОДА ПО ИНФОРМАЦИИ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННОЙ БОРТОВЫМ УСТРОЙСТВОМ РЕГИСТРАЦИИ ПРИ РАССЛЕДОВАНИИ АВИАЦИОННЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ

Доктор техн. наук *Ю.В. Попов, И.А. Уваров, Д.В. Клочков*

Научно-исследовательский центр (г. Люберцы) Центрального научно-исследовательского института военно-воздушных сил, Российская Федерация

Рассматриваются проблемы реконструкции при расследовании авиационного происшествия. Основным фактором, затрудняющим расследования авиационного происшествия, является уничтожение следов. С внедрением на воздушных судах электродистанционной системы управления сохранность агрегатов при авиационном происшествии уменьшилось. Поэтому при расследовании складываются специфические приемы моделирования и особые разновидности моделей. Зарегистрированные бортовым устройством регистрации параметры полета становится основным источником информации при расследовании авиационного происшествия. Для удобства информация обрабатывается в два этапа. Первичная обработка информации: сглаживание, синхронизация и восстановление параметров полета. Вторичная обработка информации – идентификация математической модели по результатам наблюдения параметров полета. Сформулирована задача идентификации рулевого по результатам наблюдений над входными и выходными переменными системы управления. В результате идентификации получена модель рулевого привода в виде передаточной функции.

Ключевые слова: авиационное происшествие, воздушное судно, бортовое устройство регистрации, параметры полеты, интерполяция, идентификация, математическая модель.

MATHEMATICAL MODELLING STEERING DRIVE UNDER INFORMATION, ZAREGISTRIROVNNOJ ONBOARD DEVICE REGISTRATION AT INVESTIGATION AVIACIONNNYH INCIDENTS

Doctor (Tech.) *Y.V. Popov, I.A. Uvarov, D.V. Scraps*

Research center (Lyubertsy) of the Central research institute Ministry of Defense of the Russian Federation

In article problems of reconstruction are considered at investigation of aviation incident. A major factor complicating investigations of aviation incident, destruction of traces is. With introduction on air courts of an electroremote control system safety of units at aviation incident has decreased. Therefore at investigation there are specific receptions of modelling and special versions of models. The registration registered by the onboard device parameters of flight becomes the basic source of the information at investigation of aviation incident. For convenience the information is processed in two stages. Initial processing of the information: smoothing synchronization and restoration of parameters of flight. Secondary processing of the information - identification of mathematical model by results of supervision of parameters of flight. The problem(task) of identification of the helmsman by results of supervision above entrance and target variables of a control system is formulated. As a result of identification the model of a steering drive as transfer function is received.

Keywords: aviation incident, air a vessel, the onboard device of registration, parameters flights, interpolation, identification, mathematical model.

Расследование авиационного происшествия (АП) или инцидента – это процесс по установлению причин и принятию эффективных мер по их предотвращению в будущем. При расследовании АП осуществляется реконструкция функционирования авиационной транспортной системы на момент совершенияпроисшествия или инцидента.

Реконструкция является специальным случаем моделирования, под которой в расследовании понимается восстановление, воссоздание объектов авиационной техники (АТ), ситуаций по сохранившимся остаткам воздушного судна (ВС), описаниям, фотоснимкам, информации, зарегистрированной бортовыми устройствами регистрации (БУР), и другим данным. Реконструкция при АП проводится по принципу многофакторности, предусматривающему выявление отклонений от нормального функционирования авиационной транспортной системы и оценку влияния этих отклонений на исход полета ВС.

Реконструкция зависит от особенностей изучаемого объекта АТ, целей исследования. При реконструкции планера и систем ВС целями исследования, как правило, являются определение следующих данных [1]:

работоспособности и режимов работы систем ВС до столкновения его с препятствиями;

положения рулевых поверхностей, шасси, фонарей, люков и т. д.;

характера, условий и причин разрушения деталей и узлов;

наличие топлива и других жидкостей и газов в емкостях;

причин и условий возможного пожара в полете и т.д.

Основными факторами, затрудняющими установление причин отказов аварийной АТ при расследовании АП, являются: уничтожение следов (информативных признаков) и объектов исследования (агрегатов и деталей) из-за воздействия на них возникшего в полете или при столкновении с препятствием пожара, из-за значительного разрушения объектов конструкции АТ, из-за необнаружения необходимых объектов исследования на месте АП и т.д.

Из опыта расследования АП видно, что особое внимание уделяется оценке работоспособности системы управления воздушным судном (СУВС). СУВС служит для обеспечения полета по заданной траектории путем создания на крыле и оперении потребных аэродинамических сил и моментов. Несмотря на большое разнообразие созданных за последнее время самолетов, их системы управления можно свести к нескольким основным типам обобщенных структур систем [2], которые определили ее этапы развития:

1) СУВС с механической связью и автоматизацией, определяющей уровень характеристик управляемости;

2) электродистанционная система управления с резервной механической связью;

3) электродистанционная система управления без механической связи.

Электродистанционные системы управления (ЭСУ) без механической связи определяет новый этап в развитии СУВС. На всех современных ВС используется ЭСУ, которые позволяют обеспечить не только автоматическую компенсацию динамической неустойчивости ВС, но и контроль, и ограничение вибраций конструкции самолета, перераспределение нагрузок на планер и т. д. На рис. 1 приведена структурная схема ЭСУ без механической связи.

Опыт показывает, что сохраняемость агрегатов и деталей после АП ЭСУ без механической связи уменьшается. Поэтому при расследовании складываются специфические приемы моделирования и особые разновидности моделей. В настоящее время большое внимание уделяется при расследовании моделированию работоспособности АТ. Для моделирования работоспособности АТ используется информация, зарегистрированной БУР.

В настоящее время, в связи со значительным усложнением современных ЭСУ и применением в них рулевых приводов (РП), задача оценки работоспособности их по зарегистрированной информации становится все более актуальной.

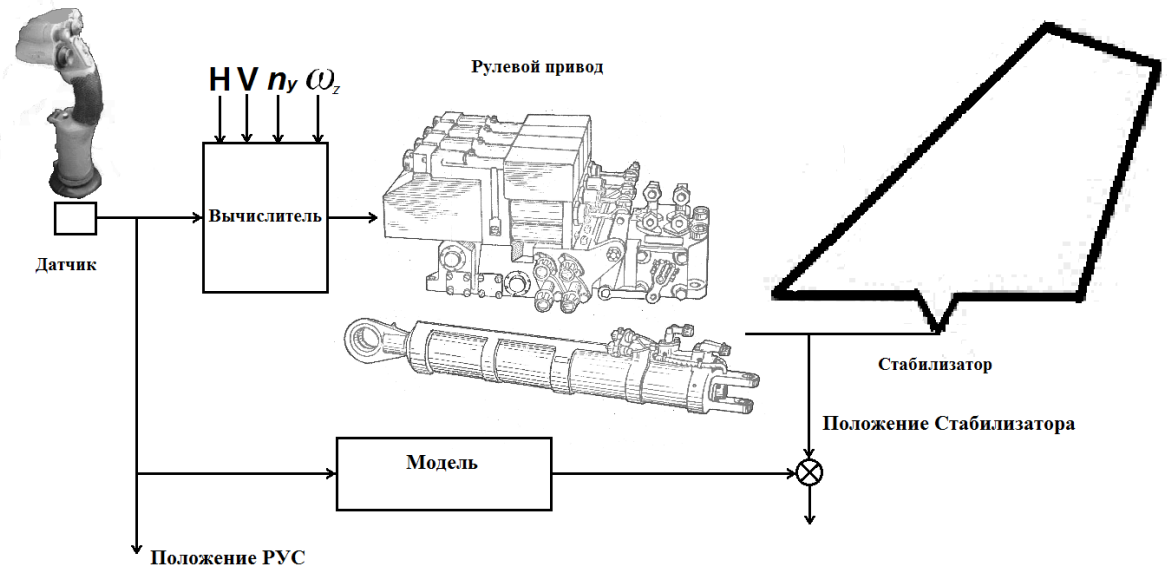

Рис. 1. Электродистанционная система управления без механической связи

Трудность контроля РП по регистрируемым входным и выходным параметрам заключается в сложности его математической модели, а также в том, что регистрируемые параметры необходимо обработать. Обработка информации БУР это процесс ее преобразования к виду удобному для дальнейшего ее применения. Обработка осуществляется в два этапа. Первичная обработка – воспроизведение, декодирование, расшифровка, сглаживание, синхронизация, восстановление и документирование в физических величинах закодированной исходной информации. Вторичная обработка – идентификация нерегистрируемых параметров и параметров модели объектов АТ для более глубокого анализа, систематизации и обобщения результатов обработки, оценки и прогнозирования технического состояния АТ.

Зарегистрированные параметры полета в себе помимо полезной информации содержат погрешности, обусловленные влиянием различных помех, возмущений и погрешностей, связанных с условиями полета, способами регистрации, кодирования информации. Наличие помех затрудняет определение истинных параметров полета ВС. Параметры полета в современных БУР фиксируются на носителе информации кадрами через некоторый промежуток времени Δt в следующем виде

$$z=p+\xi$$

где p – вектор измеренных величин, структура которого зависит от типа БУР; ξ – вектор помех измерений.

На рис. 2 приведен воспроизведенный характер записи параметров полета в БУР.

Для повышения точности и оперативности определения параметров полета ВС в наземных устройствах обработки производится сглаживание, синхронизация и восстановление измеряемых параметров. В настоящее время используются разнообразные методы сглаживания и восстановления информации [3, 4, 5, 6, 7].

Проведенными исследования было установлено, что в зависимости от вида помех необходимо использовать следующие методы сглаживания. Для импульсных помех - метод скользящей медианы. Для флуктуационных помех - сглаживание на основе распределения Гаусса. Для аномальных погрешностей - линейное сглаживание методом наименьших квадратов по правилу k-ближайших соседей.

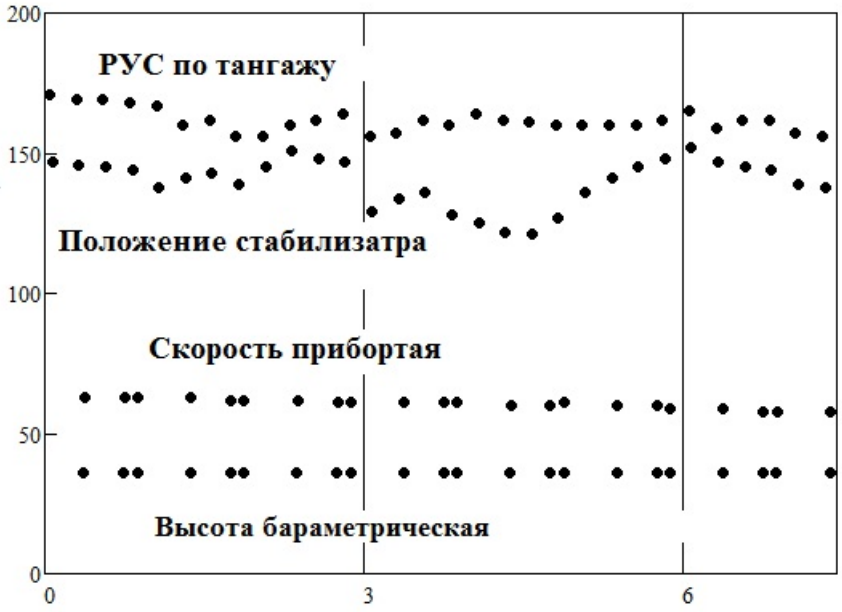

Рис. 2. Воспроизведенный характер записи параметров в БУР

Метод медианного сглаживания является простым и эффективным при импульсных помехах. Его суть состоит вычисление скользящей медианы по нескольким соседним данным. Число точек ($2q$+1), участвующих в определении медианы называют окном скользящего усреднения. Для определения скользящей медианы в точке t, вычисляется медиана во временном интервале $[t-q, t+q]$. Основное достоинство медианного сглаживания – устойчивость к наличию выбросов.

Из алгоритма определения медианы видно, что на конечных интервалах ряда, который подвергается сглаживанию, не может быть выполнено сглаживание. Этот интервал равен $q/2$. Для устранения краевых эффектов сглаживания ряда может быть использование процедура, предложенная Тьюки, согласно которой в качестве сглаженного значения для $z(0)$, где 0 - начальный момент времени, предлагается взять медиану трех точек: $z(0)$, $z(1)$ и 3*z (1) - 2*z (2), а для последнего момента времени n медиана определяется из тех точек: z(n), z(n-1) и 3*z (n-1) - 2*z (n-2).

На рис. 3 приведен пример медианного сглаживания.

Сглаживание зарегистрированных параметров полета искаженных флуктуационными помехами целесообразно проводить методом, основанным на распределении Гаусса. Сглаженный элемент zv_i временного ряда в точке i определяется по формуле

$$zv_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} K\left(\frac{z_i - z_j}{b}\right) zv_j}{\sum_{j=1}^{n} K\left(\frac{z_i - z_j}{b}\right)},$$

где $K(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\cdot(0.37)} \cdot e^{\frac{-t^2}{2\cdot 0.37^2}}$ - ядро распределения Гаусса, b–ширина окна сглаживания.

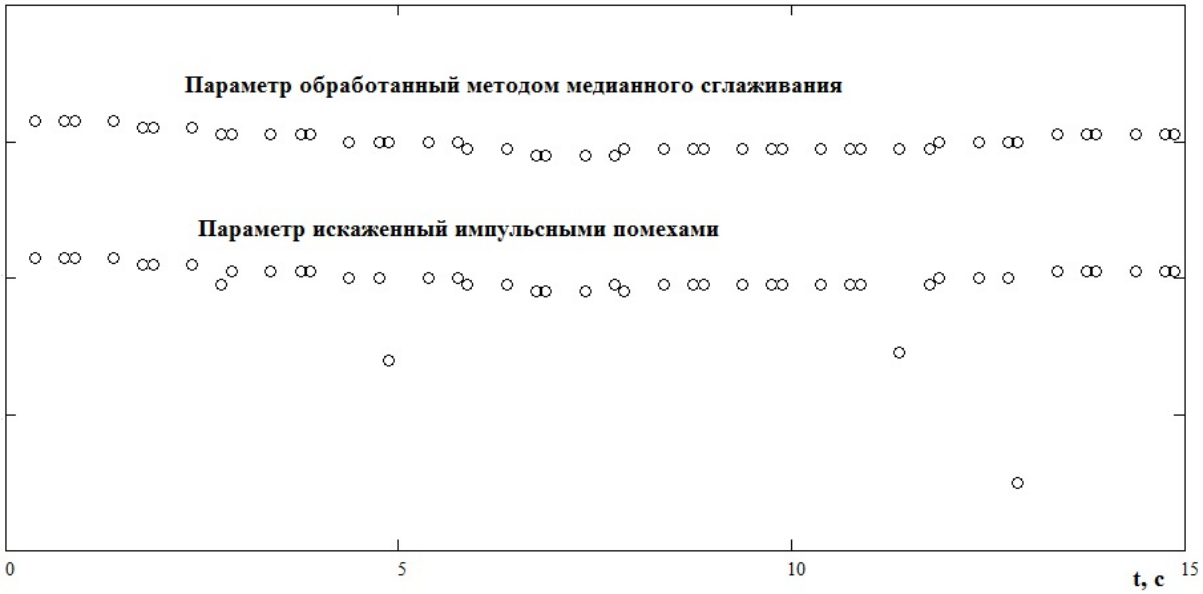

Рис. 3. Результаты медианного сглаживания

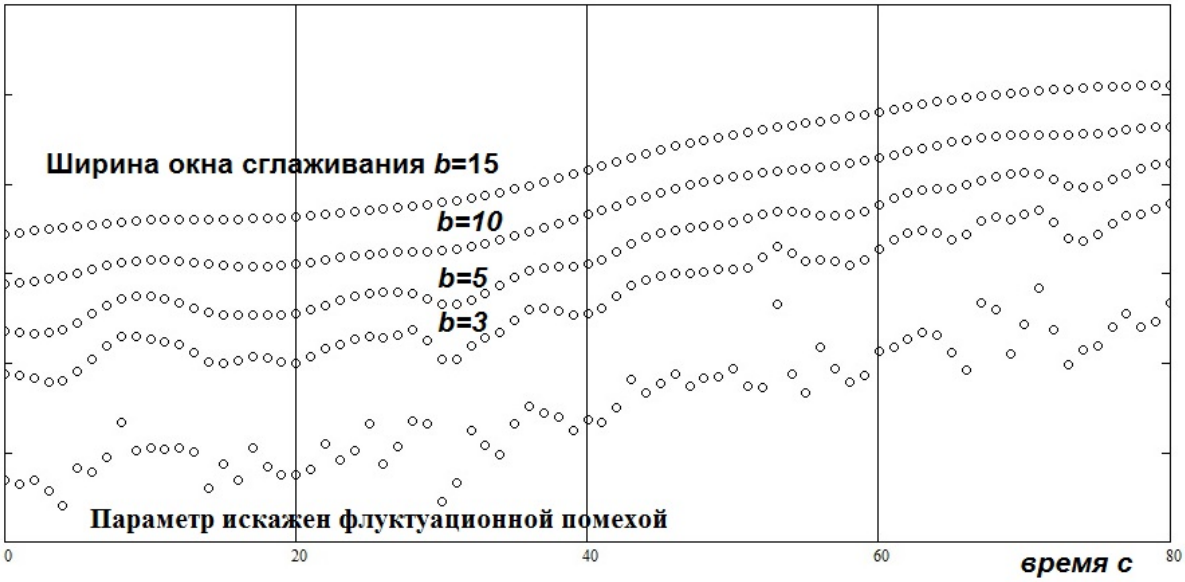

Рис. 4. Результаты сглаживания с помощью ядра Гаусса параметра искаженного флуктуационной помехой

Ширина окна сглаживания зависит от желаемой степени сглаживания, и выбирается эмпирически. На рис. 4 приведен пример сглаживания с помощью ядра распределения Гаусса с различной шириной окна сглаживания.

Аномальные погрешности в регистрируемых параметрах приводит к грубейшим ошибкам в оценках. Как правило, аномальные наблюдения имеют импульсный характер или представляются кратковременно действующими шумами большой интенсивности [8]. Аномальные наблюдения возникают в основном, вследствие внезапного нарушения структуры или параметров в измерительных преобразователях или в БУР.

Для точного отображения закономерности зависимости z от t и вместе с тем сгладить аномальные погрешности обычно применяется метод наименьших квадратов. Этот метод

дает возможность при заданном типе зависимости так выбрать ее числовые параметры, чтобы сумма квадратов отклонения зарегистрированных точек от сглаживающей кривой обращалась в минимум.

Пусть, для определенности, функция, с помощью которой будет осуществляться сглаживание, является многочленом

$$Q_r(t) = a_0 + a_1 t + \ldots + a_r t^r$$

известной степени $r \geq 1$ $(r<n)$ с числовыми коэффициентами $a_0, a_1, \ldots, a_r$, подлежащими определению.

Тогда коэффициенты $a_0, a_1, \ldots, a_r$ подбираются, таким образом, при которых функция

$$S(a_0, a_1, \ldots, a_r) = \sum_{1 \leq i \leq n} (z_i - Q_r(t_i))^2 \to \min \tag{1}$$

достигает минимума.

Искомые коэффициенты $a_0, a_1, \ldots, a_r$ определяются из системы уравнений

$$\frac{\partial S(a_0, a_1, \ldots, a_r)}{\partial a_i} = 0, \quad i = 0, 1, \ldots, r \tag{2}$$

Поскольку $S=S(a_0, a_1, \ldots, a_r)$ представляет дифференцируемую функцию r переменных, необходимым условием ее минимизации является равенство нулю частных производных $\frac{\partial S}{\partial a_i}$. Если сглаживающая функция зависит от параметров линейно, то система (1) также линейна и может быть легко разрешена. Линейной функцией называется такая функция, которая задана формулой $z = a_0 + a_1 t$. Найдем линейную функцию, которая в смысле критерия (2) наилучшим образом сглаживает зарегистрированные параметры. Причем найденная функция не обязана походить через зарегистрированные значения z.

Проведенным выкладкам в работе [9] линейная зависимость, связывающая z и t, имеет вид:

$$z = \frac{K_{tz}^*}{D_t^*} t + m_z^* - \frac{K_{tz}^*}{D_t^*} m_t^*,$$

где

$$m_t^* = \frac{\sum_{i=0}^{n} t_i}{n}; \qquad m_z^* = \frac{\sum_{i=0}^{n} z_i}{n};$$

$$K_{tz}^* = \frac{\sum_{i=0}^{n} (t_i - m_t^*)(z_i - m_z^*)}{n};$$

$$D_t^* = \frac{\sum_{i=0}^{n} (t_i - m_t^*)^2}{n}.$$

Автор [9] выразил коэффициенты линейной зависимости через центральные, а не через начальные вторые моменты только потому, что в таком виде формулы имеют более компактный вид.

Сглаживание методом наименьших квадратов тем качественнее, чем шире интервал изменения переменной, при этом точность сглаживания выше в середине промежутка изменения независимой переменной. Поэтому для сглаживания методом наименьших квадратов необходимо правильно выбирать интервал. Для выбора интервала сглаживания применяется метод *k*-ближайшего соседа. Метод *k*-ближайшего соседа представляет собой самый простой метрический классификатор, который базируется на оценивании сходства различных объектов. Метод *k*-ближайших соседей позволяет повышать достоверность классификации. Анализируемое значение зарегистрированного параметра относится к тому же интервалу, что и основная масса его соседей, то есть *k*-ближайших к нему анализируемой значений зарегистрированного параметра z_i.

На рис. 5 приведены результаты линейного сглаживания методом наименьших квадратов по правилу ближайшего соседа и других методов.

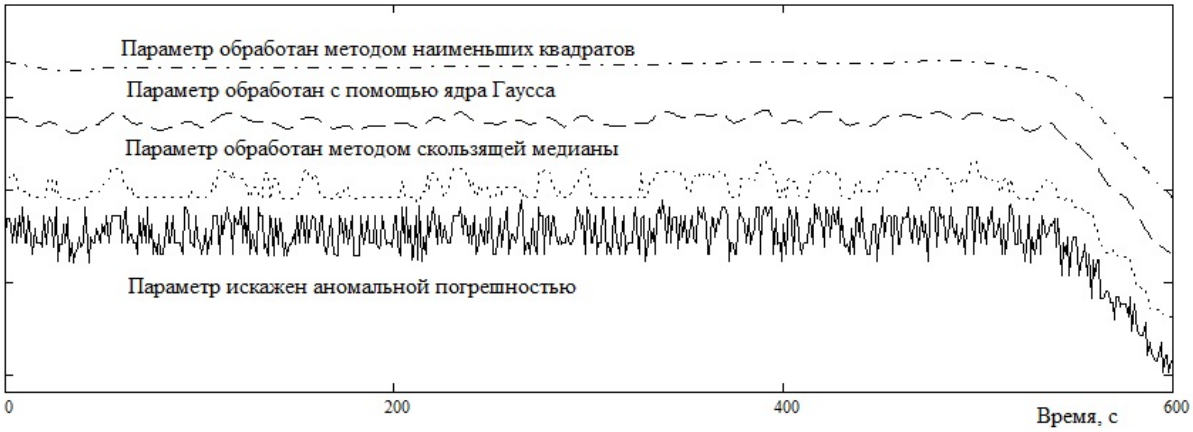

Рис. 5. Результаты обработки параметра искаженного аномальными погрешностями

Анализ обработки параметра искаженного аномальными погрешностями показывает, наилучшие результаты приносит метод наименьших квадратов по правилу *k*-ближайших соседей (см. рис. 5).

Следующим шагом подготовки зарегистрированных параметров для идентификации нерегистрируемых параметров и параметров модели объектов АТ является синхронизация и восстановления параметров.

Как указывалось выше регистрируемые параметры полета из непрерывного сигнала $z(t)$ преобразуются в последовательность мгновенных значений этого сигнала $z(k\Delta t)$, соответствующих определенным моментам времени $k\Delta t$ [10]

$$z(k\Delta t) = \sum_{k=1}^{\infty} z(t_k)\delta(t - k\Delta t),$$

где k= 1, 2, 3,…, n; Δt — шаг дискретизации; $z(t_k)$ — значение сигнала в момент t_k; $\delta(t — k\Delta t)$ — функция Дирака.

На рис. 6 представлены дискретизированные сигналы параметра «Ручка управления по тангажу» и «Положение стабилизатора».

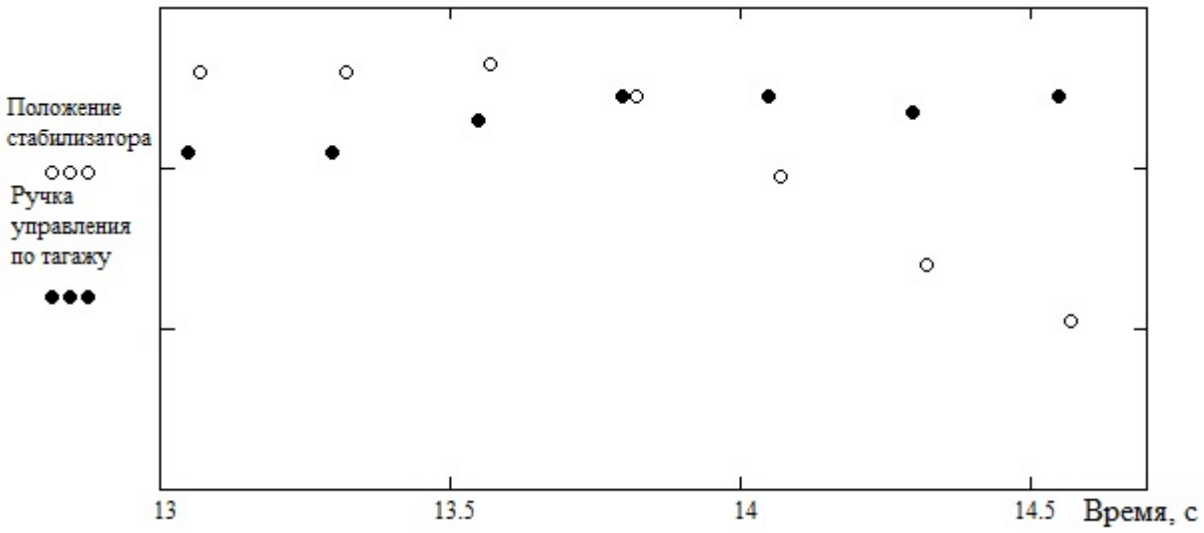

Рис. 6. Дискретные значения зарегистрированных параметров

Из рис. 6 видно, что в дискретизированном сигнале отсутствуют промежуточные значения между моментами дискретизации t_k, t_{k+1}, поэтому необходимо восстановить в сигнале все промежуточные значения. Каждый параметр регистрируется в свой промежуток времени. Поэтому для обеспечения требуемой информативности необходимо измерения синхронизировать, т. е. осуществить привязку к единой шкале времени.

Взаимная увязка зарегистрированных параметров осуществляется с помощью интерполяции. Интерполяция использует значения некоторой функции, заданные в точках измерения параметра, чтобы предсказать значения функции между ними. Приведем классическую формулировку задачи интерполяции [11].

Задан интервал $[a, b] \subset R$ и конечное множество попарно различных точек $X_i \in [a, b]$, $i = 0, 1, \ldots, n$, называемых узлами интерполяции. Совокупность всех узлов будем называть сеткой. Даны значения Y_i, $i = 0, 1, \ldots, n$. Требуется определить приближенную аналитическую функцию $\varphi(X)$, значения которой в узловых точках X_i совпадают со значениями $Y(Xi)$. Искомую функцию $\varphi(X)$ называют при этом интерполирующей функцией.

Алгоритм интерполяции определяется способом вычисления значений функции $\varphi(X)$. Наиболее простым и очевидным вариантом реализации интерполирующей функции является замена исследуемой функции $Y(X)$ на интервале $[X_i; X_{i+1}]$ отрезком прямой, соединяющим точки Y_i, Y_{i+1}. Такие методы относятся к методам линейной интерполяции.

В настоящее время существует несколько методов линейной интерполяции:

- кусочно-линейная интерполяция;
- каноническим полиномом;
- многочлен Лагранжа;
- многочлен Ньютона.

Кусочно-линейная интерполяция состоит в том, что узловые точки соединяются отрезками прямых, то есть через каждые две точки (X_i, Y_i) и (X_{i+1}, Y_{i+1}) проводится прямая. Формула кусочно-линейной интерполяции является полином первой степени:

$$\varphi(X) = a_0 + a_1 \cdot X, \text{ при } X_{i-1} \le X \le X_i \qquad (3)$$

Интерполирующая функция *φ(X)* представляет ломаную линию. Коэффициенты a_0 и a_1 разные на каждом интервале $[X_i, X_{i+1}]$, и находятся из выполнения условий интерполяции на концах отрезка:

$$\begin{cases} \varphi(X_{i-1}) = a_0 + a_1 \cdot X_{i-1} \\ \varphi(X_i) = a_0 + a_1 \cdot X_i \end{cases} \tag{4}$$

Из системы уравнений (4) определяются коэффициенты полинома кусочно-линейной интерполяции:

$$a_1 = \frac{\varphi(X_i) - \varphi(X_{i-1})}{X_i - X_{i-1}}$$

$$a_0 = \varphi(X_{i-1}) - a_1 \cdot X_{i-1}$$

Погрешность интерполяции определяется максимальным отклонением *φ(X)* от неизвестной «настоящей» функции $\Phi(X)$:

$$\left|\varphi(X) - \Phi(X)\right| \le \frac{h^2}{8} \cdot \max(\Phi''(X)).$$

Таким образом, погрешность определяется второй производной функции $\Phi(X)$ и убывает пропорционально квадрату шага *h* между данными. При использовании кусочно-линейной интерполяции сначала нужно определить интервал, в который попадает значение *X*, а затем подставить его в выражение (3), используя коэффициенты для данного интервала.

На рис. 7 приведены результаты кусочно-линейной интерполяции параметров «Положения стабилизатора» и «Положения РУС».

В работе [12] утверждается, что любая непрерывная на отрезке [*a,b*] функция *φ(X)* может быть хорошо приближена некоторым полиномом $P_n(X)$. Справедлива следующая Теорема (Вейерштрасса): Для любого $\varepsilon > 0$ существует полином $P_n(X)$ степени $n = n(\varepsilon)$, такой, что $\max\limits_{X \in [a,b]} \left|\varphi(X) - P_n(X)\right| < \varepsilon$.

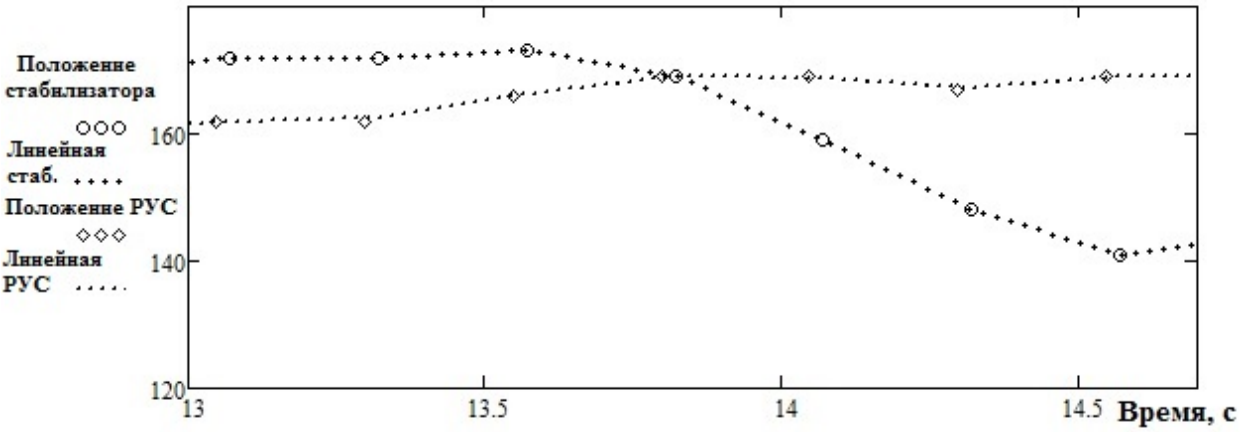

Рис. 7. Результаты кусочно-линейной интерполяции

В качестве интерполяционной функции выбираем полином степени n в каноническом виде:

$$\varphi(X) = P_n(X) = c_0 + c_1 X + c_2 X^2 + \cdots + c_n X^n .$$

Для определения коэффициентов $c_0, c_1, \ldots, c_n$ канонического полинома составим систему алгебраических уравнений

$$\begin{cases} c_0 + c_1 X_0 + c_2 X_0^2 + \ldots + c_n X_0^n = Y_0; \\ c_0 + c_1 X_1 + c_2 X_1^2 + \ldots + c_n X_1^n = Y_1; \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ c_0 + c_1 X_n + c_2 X_n^2 + \ldots + c_n X_n^n = Y_n, \end{cases}$$

которая в векторно-матричной форме имеет вид:

$$MX \cdot C = Y, \tag{5}$$

где $Y = \left[Y_0 \;\; Y_1 \;\; Y_2 \ldots Y_n\right]^T$ – вектор свободных членов; $C = \left[c_0 \;\; c_1 \;\; c_2 \ldots \;\; c_n\right]^T$ – вектор неизвестных коэффициентов полинома; MX – матрица вида:

$$MX = \begin{pmatrix} 1 & X_0 & X_0^2 & \cdots & X_0^n \\ 1 & X_1 & X_1^2 & \cdots & X_1^n \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ 1 & X_n & X_n^2 & \cdots & X_n^n \end{pmatrix}.$$

Так как среди узлов X_i нет совпадающих, определитель системы (5) отличен от нуля, то данная система, а, следовательно, и поставленная задача имеют единственное решение. Решаем систему (5) матричным методом:

$$C = MX^{-1} \cdot Y,$$

находим искомые коэффициенты $c_0, c_1, c_2, \ldots, c_n$ полинома $P_n(X)$.

На рис. 8 приведены результаты применения канонического полинома.

При достаточной простоте реализации метода он имеет существенный недостаток: число обусловленности матрицы быстро растёт с увеличением числа узлов интерполяции.

Из-за плохой обусловленности матрицы MX целесообразно применять другие методы интерполяции многочлен Лагранжа или многочлен Ньютона [13]. Эти методы относятся к глобальным методам линейной интерполяции.

При глобальной интерполяции на всем интервале измерения $[a, b]$ строится единый многочлен.

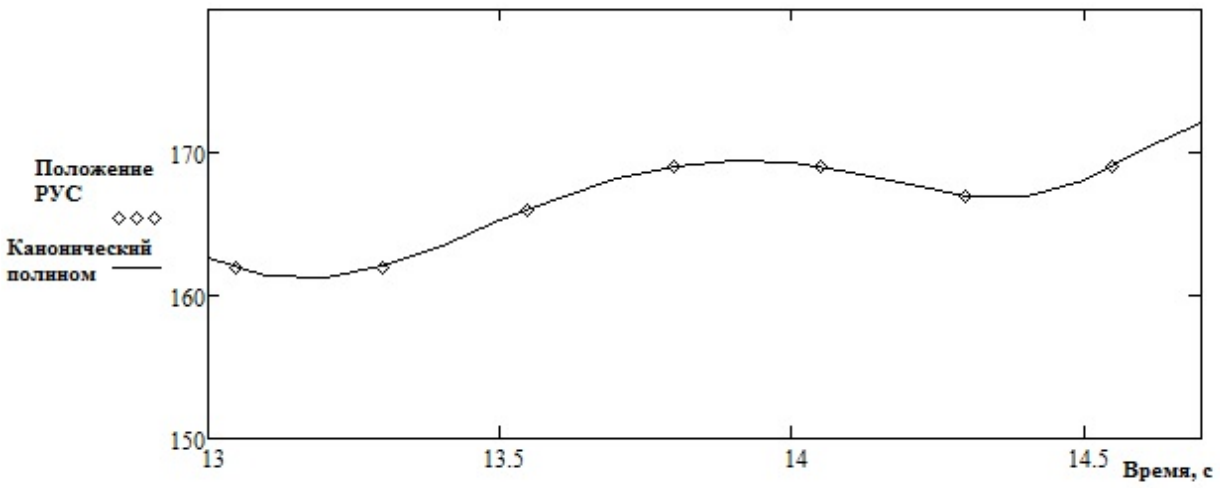

Рис. 8. Результаты применения канонического полинома

В общем виде интерполяционный многочлен в форме Лагранжа записывается в следующем виде:

$$L_n(X) = \sum_{i=0}^{n} \left(\varphi(X_i) \cdot l_i(X) \right)$$

где n - степень полинома $L_n(X)$; $\varphi(X_i)$ - значение интерполирующей функции $\varphi(X)$ в точке X_i; $l_i(X)$ - базисные полиномы (множитель Лагранжа), которые определяются по формуле:

$$l_i(X) = \prod_{j=0, j \neq i}^{n} \frac{X - X_j}{X_i - X_j} = \frac{X - X_0}{X_i - X_0} \cdots \frac{X - X_{i-1}}{X_i - X_{i-1}} \cdot \frac{X - X_{i+1}}{X_i - X_{i+1}} \cdots \frac{X - X_n}{X_i - X_n}.$$

Многочлен $l_i(X)$ удовлетворяет условию $l_i(X_j) = \begin{cases} 1, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases}$. Это условие означает, что многочлен равен нулю при каждом X_j кроме X_i, то есть $X_0, X_1, \ldots, X_{i-1}, X_{i+1}, \ldots, X_n$ – корни этого многочлена. Таким образом, степень многочлена $L_n(X)$ равна n и при $X \neq X_i$ обращаются в ноль все слагаемые суммы, кроме слагаемого с номером $i = j$, равного $\varphi(X_i)$.

Многочлен Лагранжа применим как для равноотстоящих, так и для не равноотстоящих узлов. Погрешность интерполяции методом Лагранжа зависит от свойств функции $\varphi(X)$, от расположения узлов интерполяции и точки X. Полином Лагранжа имеет малую погрешность при небольших значениях степени n (n<20). При больших значениях степени n погрешность начинает расти, что свидетельствует о том, что метод Лагранжа не сходится (то есть его погрешность не убывает с ростом значений степени n).

В случае если погрешность не достигает нужной точности, то нужно разбить отрезок на части и интерполировать каждую часть в отдельности – кусочная интерполяция.

К недостаткам многочлена Лагранжа можно отнести то, что с изменением числа узлов приходится все вычисления проводить заново.

На рис. 9 приведены результаты применения многочлена Лагранжа.

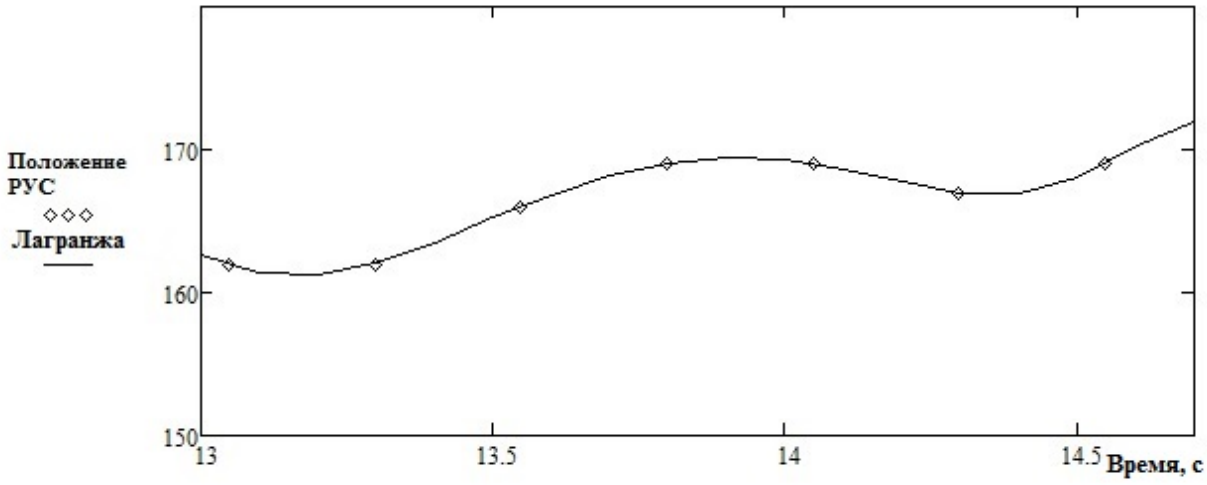

Рис. 9. Результаты применения многочлена Лагранжа

В общем виде интерполяционный многочлен в форме Ньютона записывается в следующем виде:

$$H_n(X) = \varphi(X_0) + \sum_{k=1}^{n}\left(\varphi(X_0,\ldots,X_k)\cdot\prod_{i=0}^{k-1}(X - X_i)\right),$$

где n – вещественное число, которое указывает степень полинома; $\varphi(X_0,\ldots,X_k)$ - переменная, которая представляет собой разделенную разность k-го порядка, которая вычисляется по следующей формуле:

$$\varphi(X_i, X_{i+1},\ldots,X_{i+k}) = \frac{\varphi(X_{i+1}, X_{i+2},\ldots,X_{i+k}) - \varphi(X_i, X_{i+1},\ldots,X_{i+k-1})}{X_{i+k} - X_i}.$$

Многочлен Ньютона является удобной формой представления интерполяционного полинома n-степени, так как при добавлении дополнительного узла все вычисленные ранее слагаемые остаются без изменения, а к выражению добавляется только одно новое слагаемое. Следует отметить, что интерполяционный полином в форме Ньютона только по форме отличается от интерполяционного полинома в форме Лагранжа, представляя собой на заданной сетке один и тот же интерполяционный полином.

Для достаточно гладкой функции справедливо приближенное равенство

$$\varphi(X) - H_n(X) \approx H_{n+1}(X) - H_n(X).$$

Это приближенное равенство можно использовать для оценки погрешности интерполяции: $\varepsilon_n = \left|H_{n+1}(X) - H_n(X)\right|$.

На рис. 10 приведены результаты применения многочлена Ньютона.

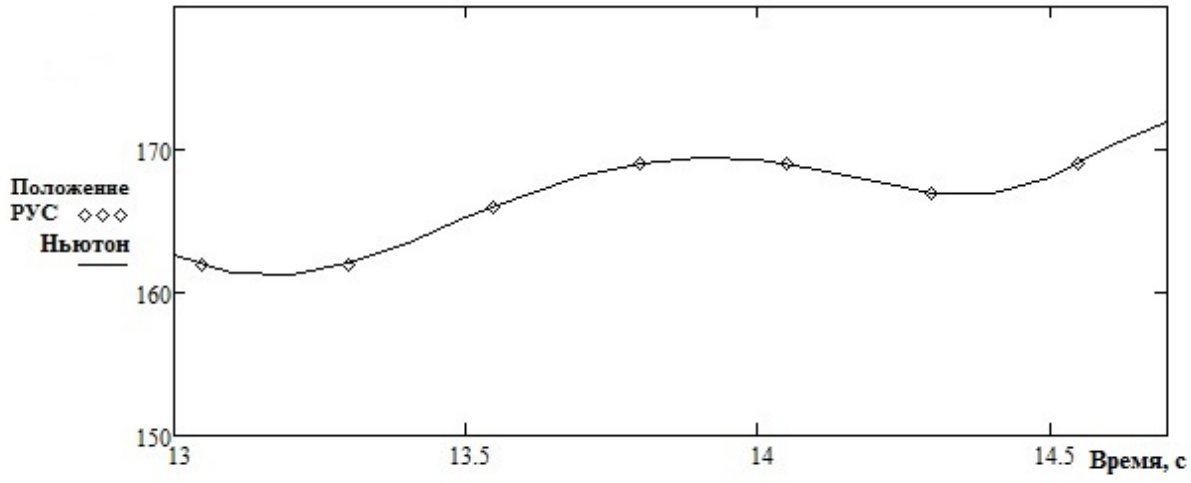

Рис. 10. Результаты применения многочлена Ньютона

Анализ рис. 8, рис. 9 и рис. 10 показывает, что результаты совпадают. Рассмотрим погрешности интерполяции между канонического полинома $P_n(X)$ и многочленом Лагранжа $L_n(X)$

$$\delta_{\rho l} = P_n(X) - L_n(X)$$

между канонического полинома $P_n(X)$ и многочленом Ньютона $H_n(X)$

$$\delta_{ph} = P_n(X) - H_n(X)$$

между многочленом Лагранжа $L_n(X)$ и многочленом Ньютона $H_n(X)$

$$\delta_{lh} = L_n(X) - H_n(X).$$

В табл. 1 приведены характеристики погрешностей интерполяции: математическое ожидание, среднеквадратическое отклонение.

Таблица 1

Характеристики погрешностей интерполяции

Характеристики	δ_{pl}	δ_{ph}	δ_{lh}
Математическое ожидание	$-7.837*10^{-3}$	$-7.837*10^{-3}$	$3.46*10^{-14}$
Среднеквадратическое отклонение	0.032	0.032	$1.089*10^{-13}$

Анализ табл. 1 показывает, что применение методов интерполяции многочлен Лагранжа и многочлен Ньютона приводит к одинаковым результатам, т.е. мы получаем один и тот же полином, используя эти многочлены.

При практической реализации (см. табл. 1) мы получаем многочлены различной точности интерполяции из-за погрешности вычислений на компьютере. Большое число узлов интерполяции рассмотренными методами не приводит к повышению точности из-за накопления погрешностей в процессе вычислений [14]. Для снижения погрешностей весь отрезок [*a*, *b*] необходимо разбивать на частичные отрезки и на каждом из них функцию $\varphi(X)$ заменяют приближенно полиномом невысокой степени. Это приводит к кусочно-полиномиальной интерполяции.

Для интерполяции на всем отрезке [*a*, *b*] используют сплайн интерполяцию. Интерполяция сплайнами - это быстрый, эффективный и устойчивый способ интерполяции функций. Сплайн интерполяция является одной из альтернатив полиномиальной интерполяции [15].

Сплайном называется кусочно-полиномиальная функция, которая вместе с несколькими производными непрерывна на всем заданном отрезке [*a*,*b*], а на каждом частичном отрезке $\left[X_i, X_{i+1}\right]$ в отдельности является некоторым алгебраическим многочленом.

В основе сплайн-интерполяции лежит следующий принцип [16]. Интервал интерполяции разбивается на небольшие отрезки, на каждом из которых функция задается полиномом третьей степени. Коэффициенты полинома подбираются таким образом, чтобы выполнялись определенные условия (какие именно, зависит от способа интерполяции). Общие для всех типов сплайнов третьего порядка требования - непрерывность функции и, разумеется, прохождение через предписанные ей точки. Дополнительными требованиями могут быть линейность функции между узлами, непрерывность высших производных и т.д.

Важнейшими достоинствами сплайн-интерполяции являются её устойчивость и малая трудоемкость. Системы линейных уравнений, которые требуется решать для построения сплайнов, очень хорошо обусловлены, что позволяет получать коэффициенты полиномов с высокой точностью. При большом временном ряде вычислительная схема не теряет устойчивость.

Наибольшую популярность из распространенных вариантов интерполяции получил кубический сплайн [17]. Кубическим сплайном называют функцию вида:

$$S_k(x) = a_k + b_k(x - X_k) + \frac{c_k}{2}(x - X_k)^2 + \frac{d_k}{6}(x - X_k)^3, \quad x \in \left[X_{k-1}, X_k\right],\ k = 1, \ldots, n \qquad (6)$$

где a_k, b_k, c_k, d_k - искомые коэффициенты.

Выражение (6) продифференцируем три раза по *x*:

$$S_k'(x) = b_k + c_k(x - X_k) + \frac{d_k}{2}(x - X_k)^2,$$
$$S_k''(x) = c_k + d_k(x - X_k),$$
$$S_k'''(x) = d_k,$$

откуда следует

$$a_k = S_k(X_k),\ \ b_k = S_k'(X_k),\ \ c_k = S_k''(X_k),\ \ d_k = S_k'''(X_k).$$

Кубический сплайн должен удовлетворять трем условиям:

1) на каждом отрезке $[X_{k-1}, X_k]$, $k = 1, 2, \ldots, n$ функция $S(x)$ должна быть кубическим многочленом;

2) функция $S(x)$, а также ее первая производная и вторая производная должны быть на отрезке $[a, b]$ непрерывны;

3) $S(X_k) = \varphi(X_k)$, $k = 0, 1, 2, \ldots, n$ - условие интерполирования.

В работе [18] приведены выкладки, для определения искомых коэффициентов a_k, b_k, c_k, d_k, которые опустим в этой статье.

На рис. 11 приведены результаты применения, сплайн интерполяции.

При сплайн-интерполяции, показанной на рис. 11, исходная функция заменена отрезками кубических парабол, проходящих через четыре смежные узловые точки. Коэффициенты парабол рассчитывались так, чтобы в точках сопряжения фрагментов сплайна совпадали координаты, а также первая и вторая производные (дефект сплайна равен нулю).

На рис. 12 приведены результаты интерполяции методом Лагранжа и сплайн интерполяции.

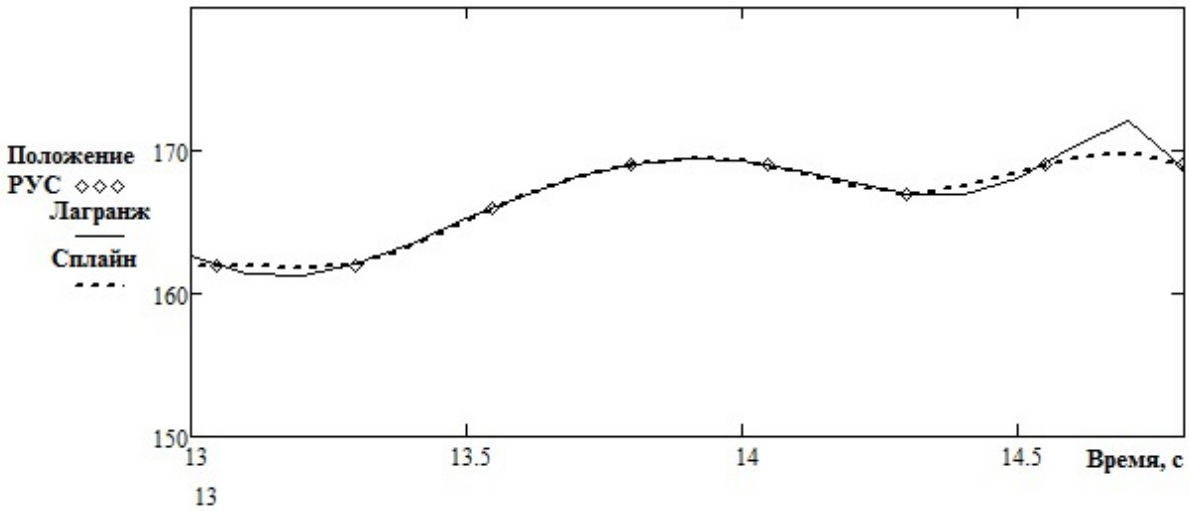

Рис. 11. Результаты применения, сплайн интерполяции

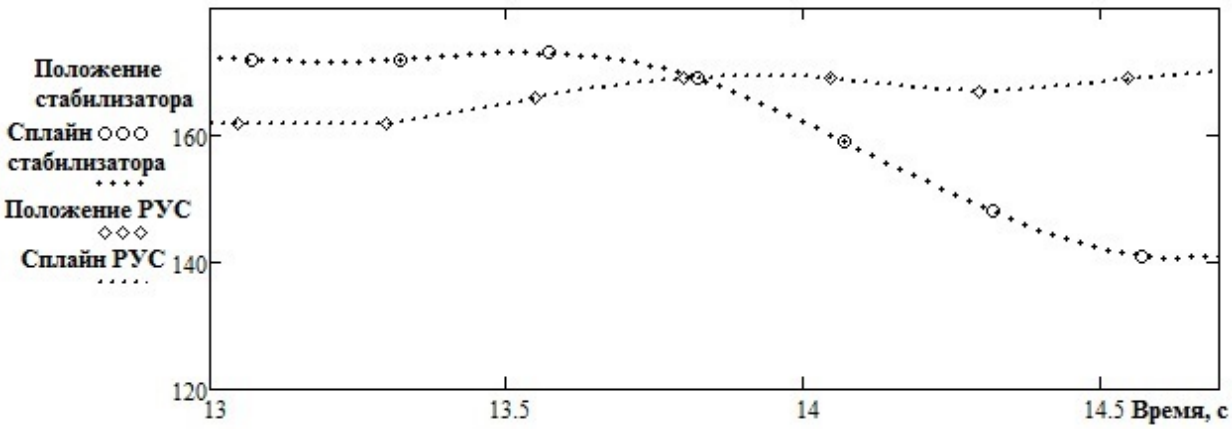

Рис. 12. Результаты интерполяции методом Лагранжа и сплайн интерполяции

Анализ интерполяции методом Лагранжа и сплайн интерполяции (см. рис. 12) показывает, что сплайн интерполяция повышает точность интерполяции, так как исключает на каждом интервале колебания многочлена Лагранжа.

Проведённый анализ обнаруживает, что сплайн интерполяция по сравнению с интерполяцией, многочленами намного технологичнее, ибо для ее реализации не требуется держать в памяти компьютера все коэффициенты многочленов для каждого промежутка. Сплайн интерполяция обеспечивает единообразие в построении основных и дополнительных узлов, это связано с равномерной сходимости сплайна к интерполируемой функции и исключает критическую ситуацию, которая требует смещения и увеличения числа дополнительных узлов. Таким образом, сплайн интерполяция сочетает в себе, локальную простату многочлена третей степени и глобальна на всем временном отрезке. Поэтому в дальнейшем для интерполяции зарегистрированных параметров будем использовать кубический сплайн интерполяции.

ЭСУ представляет динамический объект, который характеризуется возникновением переходных процессов при изменении входных, внутренних сигналов. Основным инструментом при исследовании систем управления является метод математического моделирования. Построение математической модели по результатам наблюдения параметров, зарегистрированных БУР, представляет собой формализацию, необходимую для определения основных признаков, связей и закономерностей, присущих ЭСУ. Для ЭСУ в зависимости от конкретных решаемых задач может быть разработан ряд моделей, в которых отсутствуют второстепенные признаки. Математическую модель ЭСУ состоит из двух частей: модель вычислителя и модель РП. Модель вычислителя состоит из алгоритмов преобразования значений скорости, высоты, вертикальной перегрузки и угловой скорости тангажа. Данные алгоритмы известны и поэтому модель вычислителя реализуется тривиально. Поэтому можно получить входной сигнал, который подается на РП.

РП являются исполнительным устройством системы, перемещающими органы управления ВС в соответствии с управляющими сигналами, которые формирует летчик или система автоматического управления самолетом. Основная цель анализа РП будет сводиться к тому, чтобы для РП определить наиболее простую передаточную функцию или структурную схему, которой может быть описана динамика РП. Данная процедура позволяет диагностировать РП, и оценивать его работоспособность при расследовании АП. Эффективное оценивание работоспособности РП при расследовании АП невозможно без знания свойств. Свойства должны оцениваться как качественно, так и количественно. Наиболее эффективной формой такой оценки является математическая модель. Для оценки параметров математической модели РП применяются методы идентификации.

Задача идентификации формулируется следующим образом: по результатам наблюдений над входными и выходными переменными системы должна быть построена оптимальная в некотором, смысле модель, то есть формализованное представление этой системы. То есть если система описывается некоторым оператором A_0, то имея измерения входа и выхода необходимо определить оценку A, оператора системы, оптимальную в смысле некоторого критерия. В процессе идентификации строится математическая модель исследуемого объекта (РП).

Построение математической модели РП в процессе идентификации сводится к следующим этапам [19]:

- выбор структуры объекта из физических соображений;
- «подгонка» параметров к имеющимся данным (оценивание);
- проверка и подтверждение модели (диагностическая проверка);
- использование модели по назначению.

Как правило, структура модели объекта выбирается на основе априорной информации с привлечением конструкторской и технической документации, гидростатическим и гид-

родинамическим характеристикам. РП может быть аппроксимирован колебательным звеном, и его передаточная функция имеет следующий вид [20]

$$W(p)=\frac{K}{T^2p^2+2T\xi p+1}=\frac{b_1}{p^2+a_1p+a_2}, \tag{7}$$

где $b_1=\frac{K}{T^2}$, $a_1=\frac{2\xi}{T}$, $a_2=\frac{1}{T^2}$.

Передаточную функцию (7) преобразуем в дифференциальное уравнение

$$y''(t)+a_1y'(t)+a_2y(t)=b_1u(t). \tag{8}$$

Уравнение (8) можно преобразовать в разностное уравнение путем замены производных разностями. Первую производную функции *y(t)* можно аппроксимировать центральной разностной производной:

$$\frac{dy(t)}{dt}=\lim_{\Delta t\to\infty}\frac{y(t+\Delta t)-y(t-\Delta t)}{2\Delta t}\to\Delta y(k)=\frac{y(k+1)-y(k-1)}{2\Delta t}.$$

На практике для приближенного вычисления второй производной функции *y(t)* используется следующую формулу второй разностной производной:

$$\frac{d^2y(t)}{dt^2}=\lim_{\Delta t\to\infty}\frac{y'(t+\Delta t)-y'(t-\Delta t)}{\Delta t}=\frac{\frac{y(t+\Delta t)-y(t)}{\Delta t}-\frac{y(t)-y(t-\Delta t)}{\Delta t}}{\Delta t}=$$
$$=\frac{y(t+\Delta t)-2y(t)+y(t-\Delta t)}{\Delta t^2}\to\Delta^2y(k)=\frac{\Delta y'(k+1)-\Delta y'(k-1)}{\Delta t}=\frac{y(k+1)-2y(k)+y(k-1)}{\Delta t^2}$$

Из исходного дифференциального уравнения (8) получим уравнение в конечных разностях

$$\frac{y(k+1)-2y(k)+y(k-1)}{\Delta t^2}+a_1\frac{y(k+1)-y(k-1)}{2\Delta t}+a_2y(k)=b_1u(k), \tag{9}$$

значения функции указаны в соответствующие моменты времени.

В результате преобразования уравнения (9) и замены

$$y(k+1)=y_{k+1},\ y(k)=y_k,\ y(k-1)=y_{k-1}$$

получим разностное уравнение 2-го порядка вида

$$y_{k+1}+c_1y_k+c_2y_{k-1}=c_3u_k, \tag{10}$$

где $c_1=\frac{-4+2a_2\Delta t}{2+a_1\Delta t^2}$; $c_2=\frac{2-a_1\Delta t}{2+a_1\Delta t^2}$; $c_3=\frac{2b_1\Delta t^2}{2+a_1\Delta t^2}$.

Уравнение (10) можно рассматривать как линейную статическую модель

$$y = c_1 z_1 + c_2 z_2 + c_3 z_3 ,$$

тогда проблема сводится к решению системы линейных уравнений

$$\begin{pmatrix} (z_1, z_1) & (z_1, z_2) & (z_1, z_3) \\ (z_2, z_1) & (z_2, z_2) & (z_2, z_3) \\ (z_3, z_1) & (z_3, z_2) & (z_3, z_3) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (z_1, y) \\ (z_2, y) \\ (z_3, y) \end{pmatrix}. \quad (11)$$

Систему линейных уравнений можно представить в матричном виде

$$ZC = Y \quad (12)$$

Матричное уравнение (12) равносильно системе алгебраических уравнений с неизвестными значениями коэффициентов *C*, которые могут быть определены по методу обращения:

$$C = Z^{-1} Y. \quad (13)$$

Однако метод определения коэффициентов *C* по зарегистрированным параметрам полета по своей природе неустойчив. Это связано с погрешностями исходных данных *Z* и *Y*, которые неизбежно возникают в результате регистрации параметров БУР. Таким образом, решения уравнения (13) является задачей некорректно поставленной [21]. Решение системы уравнений (13) будем искать в виде

$$\widehat{C} = \left(\alpha E + Z^T Z\right)^{-1} \cdot Z^T \cdot Y, \quad (14)$$

где $\widehat{C}$ - вектор оценок искомых коэффициентов решения системы линейных уравнений; E - единичная матрица; α - параметр регуляризации, обеспечивающий достижение решения в случае плохой обусловленности матрицы $Z^T Z$.

Выбор величины параметра регуляризации является основной проблемой при использовании регуляризирующих алгоритмов решения системы линейных уравнений на практике [21]. Если $\alpha = 0$ то система (14) переходит в плохо обусловленную систему (13). Если же λ велико, то регуляризованная система (14) будет хорошо обусловленной благодаря присутствию в левой части хорошо обусловленной матрицы αE, но сама система (14) при большом значении α сильно отличается от исходной системы, и регуляризованное решение $\widehat{C}$ не будет близким к искомому решению. Поэтому параметр регуляризации подбирается некоторым оптимальным способом.

Для контроля качества решений и выбора значений α можно воспользоваться невязкой системы [22]

$$\Delta(\alpha) = \left| Z\widehat{C}(\alpha) - Y \right|. \quad (15)$$

В связи с тем, что $\widehat{C}$ зависит от коэффициента регуляризации α, следовательно, необходимо уравнение (14) и (15) решать совместно. И параметр регуляризации α будет соответствовать минимуму зависимости $\Delta(\alpha)$.

На рис. 13 приведена зависимость невязки системы от коэффициента регуляризации. Анализ зависимости показывает, что минимум невязки достигает при коэффициенте регуляризации $\alpha = 12.855$.

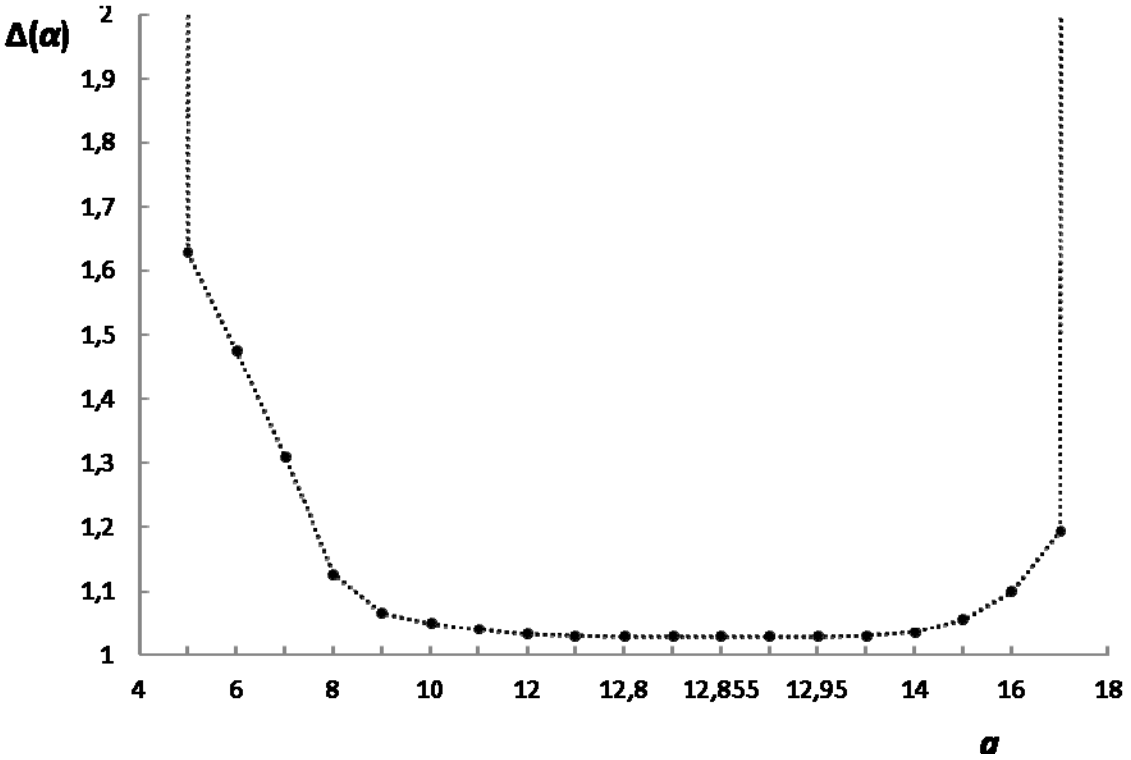

Рис. 13. Зависимость невязки $\Delta(\alpha)$ от коэффициента регуляризации α

Полученный коэффициент регуляризации позволяет идентифицировать параметры передаточной функции (7). В табл. 2 приведены параметры передаточной функции РП.

Таблица 2

Параметры передаточной функции РП

К	Т	ξ
3.47	0.142	0.084

Для успешного использования математической модели РП при решении задачи диагностики при расследовании АП необходимо, чтобы модель достаточно верно описывала качественно и количественно свойства моделируемого объекта, т. е. она должна быть адекватна моделируемому объекту. Модель называется адекватной, если предсказанные по ней значения переменной *Y* согласуются с результатами наблюдений. Для проверки

адекватности математической модели реальному процессу необходимо сравнить результаты регистрации с результатами модели. Несоответствие может быть вызвано двумя причинами: или сама передаточная функция не соответствует реальности, или случайные факторы исказили результаты регистрации параметров, вследствие чего коэффициенты в модели определены с ошибками, что сказывается на точности моделирования.

Оценка адекватности математической модели реальному физическому объекту проводилась сравнением численных значений зарегистрированных параметров полученных в реальном полете, со значениями тех же параметров, полученных в результате расчета на ЭВМ.

На рис. 14 приведены результаты зарегистрированного параметра «Положение стабилизатора» и результаты, полученные с помощью моделирования с использованием математической модели РП.

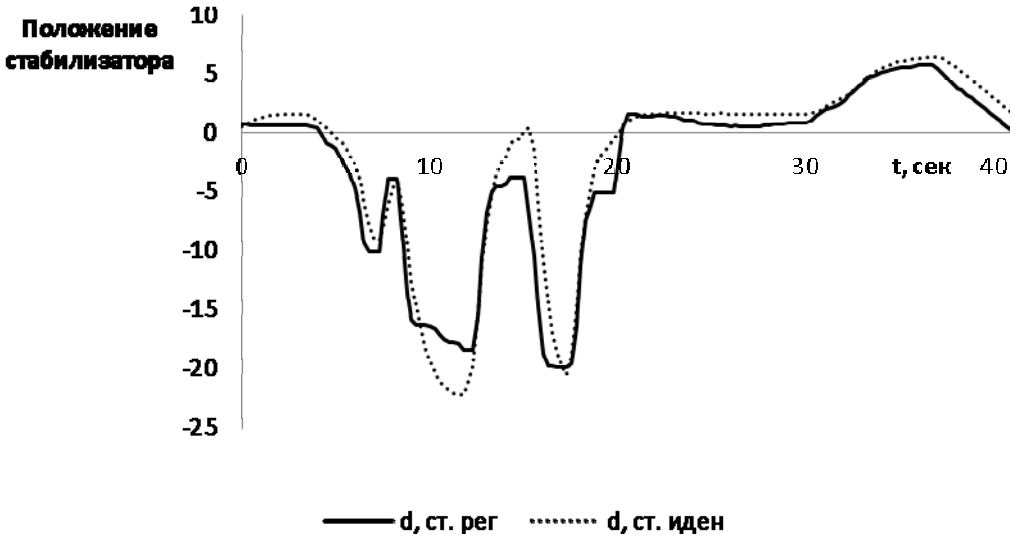

Рис. 14. Результаты зарегистрированного параметра «Положение стабилизатора» и моделирования

Для проверки адекватности модели РП реальному объекту воспользуемся критерием Фишера [23]. Для этого выполняется сравнение полученного значения $F_{фак}$ и табличного $F_{табл}$ значения. F-критерия Фишера F фактический определяется из отношения значений общей и остаточной дисперсий, рассчитанных на число оцениваемых параметров:

$$F_{фак} = \frac{S_R^{\,2}}{S_y^{\,2}} = \frac{\dfrac{\sum_{i}^{N}\left(d_{ст.иден}(i) - d_{ст.рег}(i)\right)^2}{N-m-1}}{\dfrac{\sum_{i=1}^{N}\left(d_{ст.рег}(i) - \bar{d}\right)^2}{N-1}},$$

где S_R^2 - остаточная дисперсия; S_y^2 - дисперсия характеризующая ошибку; N – количество измерений параметра, m – число оцениваемых параметров модели, $d_{ст.рег}$ – зарегистрированные значения параметра, $d_{ст.иден}$ – значения параметра, полученные в

результате моделирования, $\overline{d} = {d_{ст.рег}}/{N}$ - математическое ожидание зарегистрированного параметра.

Фактическое значение $F_{фак}$ - критерия Фишера сравнивается с табличным значением $F_{табл.}(\alpha,\ k_1,\ k_2)$ при заданном уровне значимости α и степенях свободы $k_1 = N\text{-}m\text{-}1$ и $k_2 = N\text{-}1$. При этом, если фактическое значение $F_{фак}$ - критерия больше табличного $F_{теор}(a, k_1,\ k_2)$($F_{факт} < F_{теор}$), то признается модель адекватной с *a* уровнем значимости. В табл. 3 приведены значения для оценки модели по критерию Фишера.

Таблица 3

Значения по критерию Фишера для оценки адекватности модели

$F_{фак}$	$F_{теор}(0.05,\ N\text{-}m\text{-}1,\ N\text{-}1)$
0.087	1.2916

Из табл. 3 видно, что полученная модель адекватна и надежна с 0.05 уровнем значимости. Следовательно, полученную математическую модель РП можно использовать для диагностики СУВС при расследовании АП.

Следует отметить, что описанная методика позволяет по зарегистрированной информации БУР идентифицировать математическую модель агрегатов ВС. В нашем случае была благоприятная ситуации т.к. была известна структурная модель агрегата. И здесь решалась задача определения неизвестных параметров.

Более сложной задачей является задача, когда отсутствует информация о структуре модели. В этом случае для идентификации модели целесообразно определять импульсную переходную функцию [24].

Полученные результаты исследования позволяют сделать вывод о целесообразности использования предложенных алгоритмов фильтрации, сглаживания и идентификации для получения математической модели по зарегистрированным параметрам БУР.

Использование идентифицированных моделей позволяет повысить информативность при расследовании АП.

Литература

1. Соломонов П.А. Безотказность авиационной техники и безопасность полетов. -М.: Транспорт. - 1977. – 272 с.

2. Бюшгенс Г.С. Аэродинамика, устойчивость и управляемость сверхзвуковых самолетов. - М. Наука. Физматлит. - 1998.–816 с.

3. Сухорученков Б.И., Меньшиков В.А. Методы анализа характеристик летательных аппаратов. - М.: Машиностроение. - 1995. – 368 с.

4. Кринецкий Е.И. Летные испытания ракет и КА. - М.: Машиностроение. - 1972. – 463 с.

5. Фомин А.А., Новоселов О.Н., Плющев А.В. Обработка аномальных результатов измерений. - М.: Энергоатомиздат. - 1985. – 200 с.

6. Цветнов Э.И. Основы теории статистических измерений. - М.: Энергоатомиздат. - 1986. – 256 с.

7. Поплавский Б.К. О фильтрации погрешностей при определении оценок линейных преобразований экспериментальных зависимостей методом минимальной дисперсии // Математические методы в специализированной вычислительной технике / Тр. семинара АН УССР. Ин-т кибернетики. Вып. 1, Киев. - 1968. –С. 70 - 83.

8. Гетманов В.Г. Цифровая обработка сигналов. - М.: НИЯУМИФИ. - 2010. – 232 с.
9. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. - М.: Высш. шк. - 1999.– 576 с.
10. Орнатский П.П.Теоретические основы информационно-измерительной техники. - К.: Вища шк. - 1983.– 455 с.
11. Шарый С.П. Курс вычислительных методов. - Новосибирск: Инст. вычислительных технологий СО РАН. - 2017. – 553 с.
12. Самарский А.А. Введение в численные методы. - М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы. - 1982. – 272 с.
13. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. - М.: Бином. Лаборатория знаний. - 2004.– 663 с.
14. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы. – М.: Наука. - 1989. – 430 с.
15. Толковый словарь математических терминов. / Мангуров О.В., Солнцев Ю.К., Сорокин Ю.И., Федин Н.Ф. – М.:Просвещение. - 1965.–698с.
16. http://alglib.sources.ru/interpolation/spline3.php
17. Де Бор К. Практическое руководство по сплайнам. - М.: Радио и связь. - 1985. – 304 с.
18. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. - М.: Наука. - 2011. – 535с.
19. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления. - М.: Мир. - 1975.– 684 с.
20. Крымов В.Г., Рабинович Л.В., Стеблецов В.Г. Исполнительные устройства систем управления летательными аппаратами. - М.: Машиностроение. - 1987. – 264 с.
21. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. - М.: Наука. - 1979. — 285 с.
22. Кирьянов Д.В., Кирьянова Е.Н. Вычислительная физика – М.: Полибук Мультимедиа. - 2006. – 352 с.
23. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул. - М.: Высш. шк. - 1988.- 239 с.
24. Попов Ю.В. Мониторинг и диагностика системы управления самолётом по информации, зарегистрированной бортовым устройством регистрации // Проблемы безопасности полетов. — 2012. — № 9. — С. 33-49.

Сведения об авторах

Попов Юрий Васильевич, Научно-исследовательский центр (г. Люберцы) Центрального научно-исследовательского института Минобороны России. Т. моб. 8-916-384-48-73 e-mail: tov_popov@rambler.ru

Уваров Иван Александрович, старший научный сотрудник НИО, Научно-исследовательский центр (г. Люберцы) Центрального научно-исследовательского института Минобороны России. Т. моб. 8-977-901-15-42 e-mail: vasca-2009@rambler.ru

Клочков Денис Владимирович, старший инженер научно-исследовательской летающей лаборатории, Научно-исследовательский центр (г. Люберцы) Центрального научно-исследовательского института Минобороны России. Т. 8-916-813-88-20

УДК 330.46

ВЫБОР МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОЖАРНОЙ ОБСТАНОВКИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Кандидат физ.-мат. наук *Л.Р. Борисова*
Финансовый университет при Правительстве РФ, Московский физико-технический институт (государственный университет)

Доктор сельхоз. наук, кандидат техн. наук *Ю.В. Подрезов*
ФБГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ)
Московский физико-технический институт

Представлены результаты анализа моделей прогноза пожарной обстановки в Российской Федерации и прогноз на 2019 год по наилучшей (с точки зрения статистической адекватности) модели.

Приведены результаты статистического анализа данных по динамике пожаров в РФ и обоснование выбора лучшей прогностической модели.

Ключевые слова*:* регрессия, корреляция, скользящая средняя, нормальное распределение.

THE CHOICE OF THE MODEL TO PREDICT THE FIRE SITUATION IN THE RUSSIAN FEDERATION

Ph.D. (Phys.-Mat.) *L.R. Borisova*
Financial University under the Government of RF, Moscow Institute of physics and technology (state University)

Dr. of agricultural sciences, Ph.D (Tech) *J.V. Podrezov*
FC VNII GOCHS EMERCOM of Russia
Moscow Institute of physics and technology (state University)

The article presents the analysis of models of forecast of the fire situation in the Russian Federation and forecast to 2019 at best (from the point of view of statistical adequacy) of the model.

The results of statistical analysis of data on the dynamics of fires in the Russian Federation and the rationale for choosing the best predictive model are presented.

Keywords: regression, correlation, moving average, normal distribution.

По данным Центра пожарной статистики КТИФ на 1 миллион человек в России при пожарах погибает более 100 человек, что в 6 раз больше, чем в США. При этом количество пожаров в год на 1 миллион человек по России составляет около 2000. Вместе с тем число пожаров в нашей стране каждый год сокращается, что свидетельствует о сокращении ветхого жилья в стране, уменьшении использования при строительстве взрывоопасных материалов, повышения грамотности населения и хорошей работе МЧС России.

Однако, так как гибель людей при пожарах остается достаточно высокой, целесообразно решать проблему снижения смертности при пожарах (а, в перспективе полного предотвращения гибели людей).

Анализ моделирования динамики количества пожаров является весьма актуальной задачей для прогноза на будущее пожарной обстановки.

Были проведены исследования по статистическому анализу данных по количеству пожаров, представленных на сайте [1].

К классическим методам, требующим нормальности исходных данных, относятся регрессионный и дисперсионный анализы. Для того, чтобы корректно использовать параметрические методы, необходимо преодолеть как минимум две проблемы, связанные с исходными последовательностями данных, представленных в виде временных рядов – нестационарность и отсутствие нормального распределения. Повлиять на стационарность входных последовательностей мы не можем, но попытаться приблизить их закон распределения к нормальному вполне возможно.

Данные для анализа, взятые с сайта представлены в табл. 1, приведенной ниже [1].

Таблица 1

Данные для построения регрессионных моделей

Год	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Количество пожаров, тысяч	239,2	233,2	229,8	220,5	212,6	202	187,6	179,5
Год	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Количество пожаров, тысяч	168,5	162,9	153,5	150,8	145,6	139,1	132,4	

Ранее в своих работах мы использовали способ проверки нормальности исходных данных, основанный на построении экспериментальной и теоретической квантилей [2,3,4]. На рис. 1 представлена такая проверка для данных из табл. 1. Из легенды рис. 1 следует, что коэффициент корреляции между теоретической и экспериментальной квантилями составляет 0,98. Так как коэффициент детерминации R^2 равен 0,96, то только 4% данных по распространению пожаров не могут быть объяснены по рассмотренной выше модели. Таким образом, исходя из нормального распределения исходных данных (что вполне согласуется с центральной предельной теоремой, так как независимых причин возникновения пожаров очень много), можно использовать регрессионные модели.

Начнем прогноз с самой простой модели – модели линейной регрессии. На рис. 2 представлены результаты моделирования по данной модели. Модель с высоким коэффициентом корреляции сглаживает данные [1]. Следует отметить, что по критериям Фишера и Стьюдента данная модель статистически адекватная (F-статистика равна 695, значимость критерия равна $5{,}43*10^{-12}$; t - статистика равна 26,65, значимость критерия равна $4{,}785*10^{-12}$).

Представим динамику и прогноз количества пожаров с учетом доверительного интервала на следующем рис. 3.

Согласно линейной модели количество пожаров в 2018 году ожидается от 109,27 до 127,24 (тысяч). В 2019 году доверительный интервал для количества пожаров составляет от 101 до 119 (в тысячах).

По критерию Дарбина-Уотсона модель также статистически адекватна, то есть ряд данных можно отнести к стационарному ряду, автокорреляций нет. Количество пожаров в один год не зависит от того, сколько их было в предыдущий год. Сумма остатков ряда равна нулю, что также говорит в пользу статистической адекватности данной модели.

Проверим, не улучшит ли прогноз использование метода экспоненциального сглаживания данных. Как видно из рис. 4, модель хорошо аппроксимирует экспериментальные данные.

Рис. 1. Обоснование нормальности распределения анализируемого временного ряда

Рис. 2. Динамика количества пожаров (в тысячах) в Российской Федерации

Рис. 3. Прогноз количества пожаров с учетом доверительного интервала

Рис. 4. Прогноз количества пожаров по модели экспоненциального сглаживания

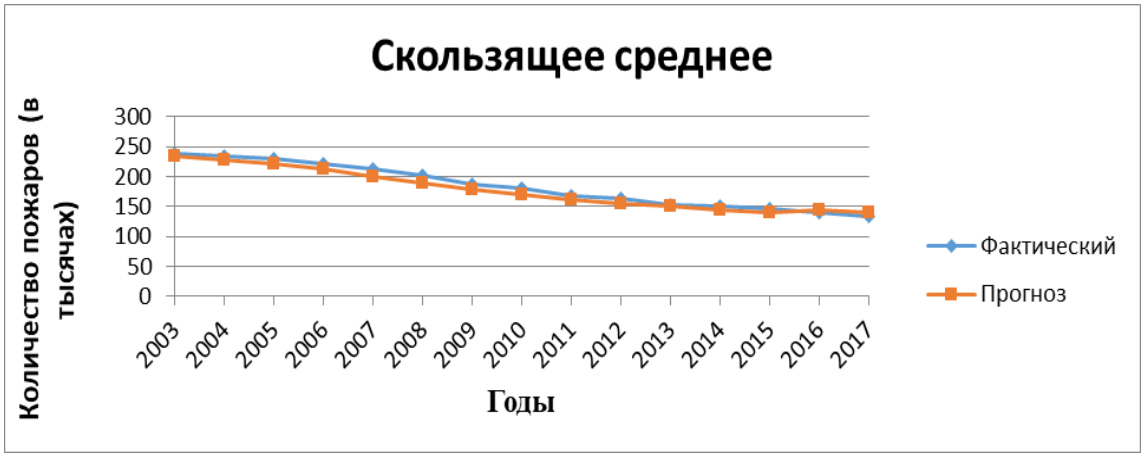

Рис. 5. Прогноз количества пожаров по модели скользящей средней

Сравнивая линейную и экспоненциальную аппроксимацию, визуально трудно отдать предпочтение какой-то из них. Согласно модели экспоненциального сглаживания, в 2018 году прогнозируется 135,18 тысяч пожаров, что несколько больше, чем по линейной модели.

Аппроксимируем данные на основе модели скользящей средней. Данные аппроксимации представлены на рис.5.

Согласно модели скользящей средней, доверительный 95%-интервал для количества пожаров в 2017 составляет от 114,6 до 132,76 тысяч пожаров, в 2019 году от 104,6 до 127,1 тысяч пожаров в год.

Полученные результаты подтверждают необходимость при прогнозировании использовать весь имеющийся статистический аппарат обработки данных, обязательную проверку моделей на статистическую адекватность для возможного использования изученных моделей при разработке моделей прогноза пожарной обстановки в регионах РФ.

Литература

1. http://www.fire-org.

2. Подрезов Ю.В., Борисова Л.Р., Донцова О.С. Исследование динамики количества биолого-социальных чрезвычайных ситуаций.- М.: Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. - 2017. № 3. 104-110.

3. Борисова Л.Р. Исследование динамики количества техногенных чрезвычайных ситуаций, связанных с выбросом радиоактивных веществ и химически опасных веществ. - М.: Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. - 2016. № 2. 58-68.

4. Осипов А.Э., Борисова Л.Р. Применение методов одномерной и многомерной статистики для анализа чрезвычайных ситуаций. - М.: Технологии гражданской безопасности. - 2015. Т.12. № 2. С.50-53.

Сведения об авторах

Подрезов Юрий Викторович, доцент, главный научный сотрудник научно-исследовательского центра ФГБУ ВНИИ ГЧС (ФЦ); заместитель заведующего кафедрой Московского физико-технического института (государственного университета). Тел.: 8-903-573-44-84; e-mail: uvp4@mail.ru;

Борисова Людмила Робертовна, доцент департамента анализа данных, принятия решений и финансовых технологий Финансового университета при Правительстве РФ; доцент кафедры «Высоких технологий в обеспечении безопасности жизнедеятельности» МФТИ (ГУ). Тел. 8-916-245-71-27 E-mail: borisovalr@mail.ru.

УДК 656.2-027.45

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МАГИСТРАЛЯХ

С.В. Швецова

Дальневосточный государственный университет путей сообщения

Кандидат техн. наук *А.В. Швецов*

ХФ ФГУП «Защита Инфо Транс Министерства транспорта Российской Федерации»

Проблема обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте стала еще острее с началом эксплуатации в России высокоскоростного железнодорожного транспорта. Крушение высокоскоростного поезда неминуемо приведет к многочисленным человеческим жертвам, принесет большой экономический ущерб, а также, нанесет значительный ущерб имиджу высокоскоростного железнодорожного транспорта как наиболее безопасного из существующих в настоящее время. Реагирование на угрозы безопасности высокоскоростных магистралей (ВСМ) требует особого внимания и оперативности. В настоящем исследовании разработана система дистанционного оперативного реагирования на угрозы транспортной безопасности ВСМ. Принцип действия системы основан на применении автоматизированных дрон-станций обеспечивающих прибытие в течение 10 минут беспилотного летательного аппарата к месту инцидента на ВСМ, инцидентом может являться фиксация системой видеонаблюдения факта проникновения нарушителя на высокоскоростную магистраль или срабатывание периметровой охранной сигнализации. Разработка системы выполнена на примере ВСМ Москва – Санкт-Петербург.

Ключевые слова: транспортная безопасность; высокоскоростные магистрали; беспилотные летательные аппараты.

APPLICATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR ENSURING TRANSPORTATION SECURITY ON RAILWAY HIGH SPEED SYSTEMS

S.V. Shvetsova

Far East State Transport University

Ph.D. (Tech.) *A.V. Shvetsov*

HF FGUP "Zashchita info trans of the Ministry of Transport of the Russian Federation"

The problem of ensuring security in rail transport has become even more acute with the start of operation of high-speed rail transport in Russia. The collapse of a high-speed train will inevitably lead to numerous casualties, bring great economic damage, and also cause significant damage to the image of high-speed rail transport as the safest at present. Responding to high-speed rail systems (HSRS) security threats requires special attention and speed. In the present study, a system of remote operational response to the threats to the transport security of high-

speed lines was developed. The principle of the system is based on the use of automated drone stations providing an unmanned aircraft arriving within 10 minutes to the scene of an incident on the high-speed rail, the incident may be a video surveillance system recording the fact of intruders entering a high-speed backbone or triggering a perimeter security alarm. The development of the system is made on the example of the HSRS Moscow - St. Petersburg.

Keywords: transport security; high-speed highways; unmanned aerial vehicles.

1. Введение

В результате анализа данных из источников [1-9] установлено, что за всю историю эксплуатации высокоскоростного железнодорожного транспорта, на ВСМ было совершено 34 акта незаконного вмешательства (АНВ), в результате которых произошло 8 крушений высокоскоростных поездов. В работе сформирована статистика по АНВ на ВСМ (табл. 1).

Таблица 1

Статистика актов незаконного вмешательства на ВСМ

Страна	Количество инцидентов	% от общего числа	Погибших	Раненых
Германия	10	29.4%	0	0
Франция	10	29.4%	5	37
Испания	8	23.4%	0	0
Великобритания	3	8.8%	0	1
Швейцария	1	2.9%	0	0
Япония	1	2.9%	0	0
Италия	1	2.9%	0	0
Итого:	34	100.0%	5	38

Анализ статистических данных представленных в базе данных Международного союза железных дорог (UIC) [9] показал, что:

– 85.2% АНВ совершено на ж.д. пути и в скоростных поездах;

– при АНВ в 44.4% случаев были использованы взрывные устройства (ВУ) а в 5.8% случаев были удалены соединительные крепления рельс, в результате произошло 8 крушений поездов.

Существование угрозы совершения актов незаконного вмешательства на ВСМ требует разработки новых научно-обоснованных методов защиты [10-16].

В качестве одного из таких методов предлагается обеспечивать транспортную безопасность на ВСМ с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Беспилотные летательные аппараты в настоящее время имеют также ряд других обозначений, среди которых наиболее распространенными являются беспилотники или дроны.

Применение дронов, для контроля безопасности по всей протяженности ВСМ, до настоящего времени ограничивалось как дальностью их полета, в среднем 10-15 км, так и

временем нахождения в воздухе, в среднем 30-60 мин (дроны вертолетного типа). Более высокой дальностью полета и временем нахождения в воздухе обладают дроны самолетного типа, но их применение для целей антитеррористической защиты ВСМ ограничивается тем что они не могут зависать над местом с которого поступил тревожный сигнал, что в свою очередь не позволяет вблизи и с разных углов рассмотреть место инцидента и определить было или нет заложено ВУ.

В результате можно сделать вывод, что практическое применение дронов для контроля безопасности на ВСМ до настоящего времени сдерживалось следующими факторами:

– дальность полета дрона (вертолетного типа) на расстоянии не более 10-15 км от базы;
– необходимость участия людей в запуске дрона;
– временем нахождения в воздухе, в среднем 30-60 мин.

2. Система дистанционного оперативного реагирования на угрозы транспортной безопасности ВСМ

Для решения задачи по практическому применению дронов при обеспечении безопасности на ВСМ, в настоящем исследовании разработана система дистанционного оперативного реагирования на угрозы транспортной безопасности ВСМ (далее - система). Базовым элементом системы являются дрон-станция (рис. 1) дислоцируемые по всей протяженности ВСМ через определенное расстояние.

А **В**

Рис. 1. Дрон станция:
А – с закрытым куполом; В – с открытым куполом и вылетающим дроном

2.1. Описание системы

Разработка системы выполнена на примере ВСМ Москва – Санкт-Петербург.

Схема разработанной системы дистанционного оперативного реагирования на угрозы транспортной безопасности ВСМ Москва – Санкт-Петербург показана на рис. 2.

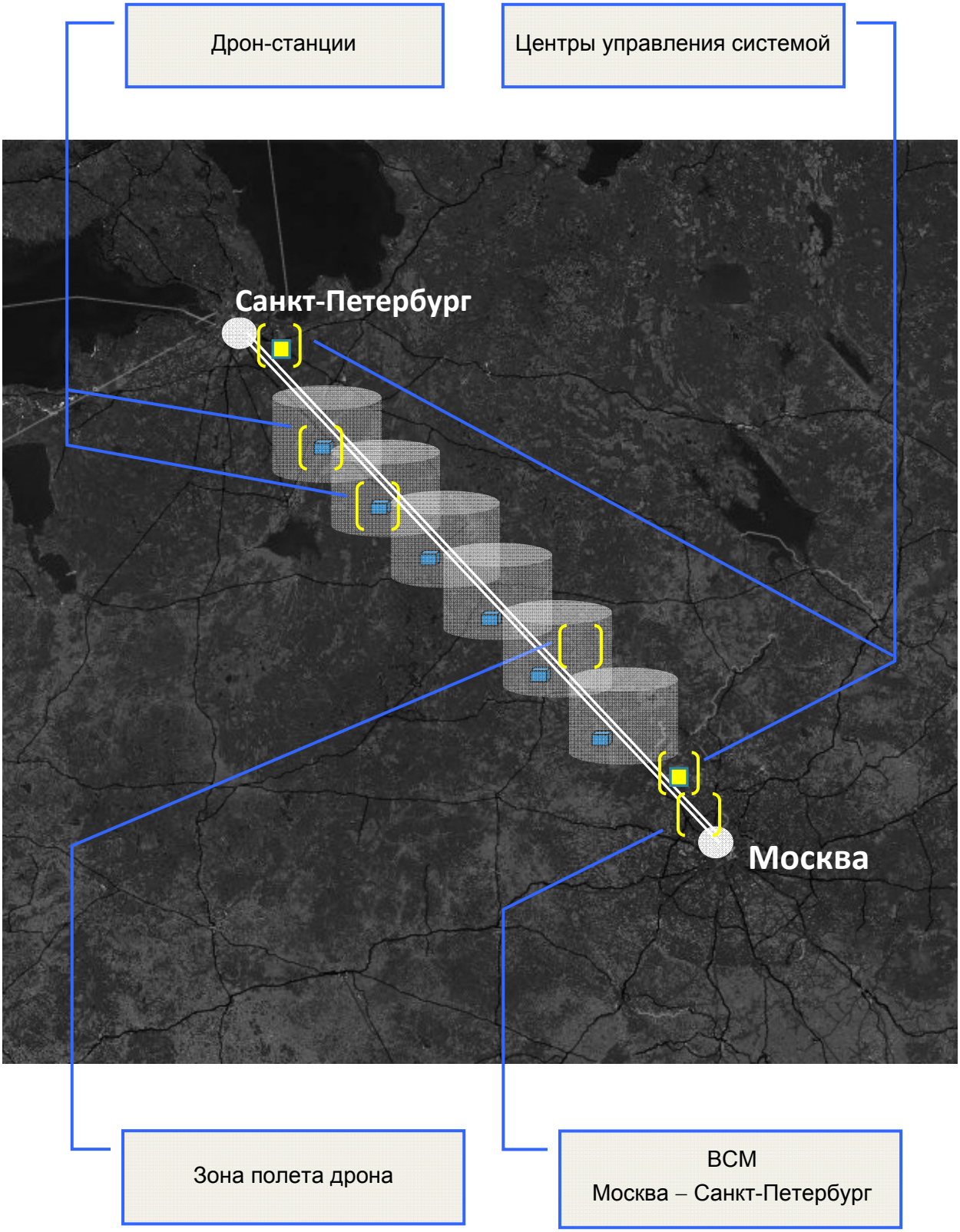

Рис. 2. Система дистанционного оперативного реагирования на угрозы транспортной безопасности ВСМ Москва - Санкт-Петербург

Предлагаемая структура системы позволяет диспетчеру оперативно в течении 10-15 мин. осмотреть при помощи видеокамеры установленной на дроне место проникновения нарушителя на ВСМ практически по всей ее протяженности. Осмотр при помощи дрона, позволит диспетчеру детально рассмотреть участок пути, на который проник нарушитель, с расстояния несколько метров под разными углами. Осмотр позволит оперативно принять решение, существует или нет необходимость, направлять на место инцидента оперативную группу сотрудников службы безопасности и останавливать движение поездов на данном участке пути.

Структура системы:

– дрон-станции;
– дроны;
– центры управления системой;
– программное обеспечение;
– автономные площадки, для размещения дрон-станций вдоль ВСМ.

Условия функционирования системы:

При применении в качестве основного элемента системы дрон-станций Airobotics platform система сохраняет работоспособность в следующих условиях воздействия внешних факторов:

• скорости ветра до 10 м/с;
• температуры воздуха до минус (30 ± 4) °С;
• температуры воздуха до плюс (50±5) °С;
• влажность до 100% при температуре (35±2) °С;
• ртутном атмосферном давлении от 645 до 790 мм.

Функциональность системы:

– стационарное базирование и подзарядка дронов;
– дистанционное управление дроном с компьютера (пульта управления) диспетчера расположенного в центре управления системой;
– дистанционная передача видеосигнала с дрона на компьютер (пульт управления) диспетчера расположенный в центре управления системой.

Дрон-станция защищает дрон закрывающимся куполом от внешних воздействий таких как кражи, дождь, снег и ветер. Взлет дрона осуществляются после открытия купола. Посадка дрона может производится как диспетчером, так и автоматически в режиме "автопилот". Функция автоматической замены аккумулятора позволяет системе функционировать в автоматическом режиме до нескольких месяцев. На дроне в постоянном режиме устанавливаются стандартная и инфракрасная видеокамеры обеспечивающие при полете дрона потоковое видео в режиме on-line, как в дневное так и в ночное время.

Для расчета расстояния на котором необходимо устанавливать дрон-станции, относительно друг друга, вдоль всего пути ВСМ, был выполнен расчет основанный на данных о максимальной дальности полета планируемых к применению дронов.

Для расчета были применены следующие исходные условия:

– размещение дрон-станции должно обеспечивать возможность осмотра с применением дрона любого участка ВСМ, т.е. не должно быть участков не достигаемых дронами;
– подлет дрона к месту инцидента должен обеспечиваться не более чем за 10 минут.

При осуществлении расчета использовались технические характеристики дрона модель Airobotics.

Характеристики дрона:

▪ максимальная скорость, 65 км/ч;
▪ время необходимое на открытие купола и взлет дрона, 3 мин.;
▪ максимальная дальность полета, до 25 км;
▪ время нахождения в воздухе, до 60 мин.

Расчет осуществлен с применением формулы:

$$D = \frac{R_M}{2} - T_V \ , \qquad (1)$$

где D – дистанция между дрон-станциями;

R_M – максимальное расстояние полета дрона (согласно технических характеристик дрона Airobotics);

T_V – время необходимое диспетчеру на осмотр места инцидента (= 5 мин. установлено экспериментально).

Согласно проведенного авторами расчета по формуле (1) дистанция между дрон-станциями должна быть не более 10 км.

3. Заключение

Чтобы решить проблему практического применения дронов для обеспечения безопасности ВСМ, в настоящем исследовании разработана система дистанционного оперативного реагирования на угрозы транспортной безопасности ВСМ. Проектирование осуществлено на примере ВСМ Москва – Санкт-Петербург. Система предусматривает стационарное базирование дронов вдоль всей протяженности ВСМ в дрон-станциях. Предложенное решение может быть применено и на других ВСМ.

Применение спроектированной в исследовании системы позволит обеспечить более оперативное реагирование на сигналы об угрозах для безопасности на ВСМ.

Система кроме своего прямого назначения, дополнительно может использоваться техническими службами ВСМ для обследования пути и сооружений, а также спасательными и специальными службами при проведении спасательных и других операций вблизи от ВСМ.

Литература

1. Setola, R. Critical infrastructure dependency assessment using the input–output inoperability model / R. Setola, S.De Porcellinis, M. Sforna // International Journal of Critical Infrastructure Protection. – 2009. – Vol. 2. – P. 170–178.

2. Ackerman, G. Comparative Analysis of VNSA Complex Engineering Efforts / G. Ackerman // Journal of Strategic Security. – 2016. – Vol. 9. – P. 119–133.

3. De Cillis, F. Analysis of Criminal and Terrorist Related Episodes in Railway Infrastructure Scenarios / De Cillis F, De Maggio MC, Pragliola C, Setola R // Journal of Homeland Security and Emergency Management. – 2013. – 10(2): 1–30.

4. Edwards, FL. Emergency Management Training for Transportation Agencies / Edwards FL, Goodrich DC, Griffith J // Mineta Transportation Institute Report. – 2016. – 12-70. San Jose, California: Mineta Transportation Institute.

5. Standberg, V. Rail bound traffic – a prime target for contemporary terrorist attacks / V. Standberg // Journal of Transportation Security. – 2013. – Vol. 6. – P. 271–286.

6. Dietrich B, Iff S, Profelt J et al. Development of a Local Air Surveillance System for Security Purposes: Design and Core Characteristics. European Journal for Security Research. – 2017. doi: 10.1007/s41125-017-0015-7

7. Polunsky, SM. Homeland security and Texas' high-speed rail. Journal of Transportation Security. – 2017. doi: 10.1007/s12198-017-0180-y

8. Larcher, M. Effectiveness of finite-element modelling of damage and injuries for explosions inside trains / M. Larcher, R. Forsberg, U. Björnstig // Journal of Transportation Safety and Security. – 2015. – Vol. 8. – P. 83–100.

9. База данных Международного союза железных дорог (UIC) [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: http://uic.org/highspeed

10. Лёвин Б.А. Дистанционно-пилотируемые летательные аппараты и безопасность пути / Б.А. Лёвин, А.С. Бугаев, С.И. Ивашов, В.В. Разевиг // Мир Транспорта. – 2013. – № 2. – С. 152–157.

11. Lievin B.A. Prospects of High Technologies in the Remote Diagnosis of the Track / B.A. Lievin, B.L. Nedorchuk // Journal of Information Technology and Applications. – 2015. – Vol. 5. – Num. 1. – P. 65-71.

12. Малыгин И.Г., Сильников М.В. Применение интеллектуальных систем транспортной безопасности в мегаполисах: проблемы и перспективы//Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. – 2014. – №3-4. – С. 76–82.

13. Makhutov N. Risk monitoring and forecasting for complex safety systems of transport infrastructure and vehicles //Quality of Life Research. – 2014. – № 3.– С. 11.

14. Швецов А.В. Направления реформирования системы обеспечения транспортной безопасности в Российской Федерации / А.В. Швецов, А.С. Балалаев, С.В. Швецова // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2018.

15. Швецов А.В., Швецова С.В. Повышение эффективности обеспечения транспортной безопасности в Российской Федерации // «Современные технологии управления транспортным комплексом России: Инновации, эффективность, результативность»: матер. Перв. нац. науч.-практ. конф. – Москва: РУТ (МИИТ). - 2018.

16. Швецова С.В. Повышение эффективности управления безопасностью перевозок на высокоскоростном железнодорожном транспорте // «Научно-техническое и социально-экономическое развитие транспорта и промышленности стран АТР»: матер. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Хабаровск: ДВГУПС. - 2018

Сведения об авторах

Швецова Светлана Валерьевна, аспирант ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», 680038, Хабаровск, ул. Серышева, д. 47, тел: 8-924-315-58-73, e-mail: techzdservis@mail.ru

Швецов Алексей Владиславович, начальник отдела транспортной безопасности ХФ ФГУП «Защита Инфо Транс Министерства транспорта Российской Федерации», 680038, Хабаровск, ул. Волочаевская, д. 188, тел: +7-925-050-7409, e-mail: transport-safety@mail.ru

УДК 351.861

ОСОБЕННОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ГРОЗОВЫХ И ГРАДОВЫХ ПРОЦЕССОВ В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

Доктор сельхоз. наук, кандидат техн. наук *Ю.В. Подрезов*
ФБГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ)
Московский физико-технический институт

Выполнен анализ физической сущности, особенностей возникновения и развития грозовых и градовых процессов в атмосфере Земли, а также их основные последствия. Рассмотрены вопросы опасности указанных процессов для населения и территорий.

Ключевые слова: атмосфера Земли, град, градобитие, гроза, метеоусловия, погодные условия, чрезвычайные ситуации природного характера.

FEATURES OF OCCURRENCE AND DEVELOPMENT OF THUNDERSTORMS AND HAIL PROCESSES IN THE EARTH'S ATMOSPHERE

Dr. of agricultural sciences, Ph.D (Tech) *J.V. Podrezov*
FC VNII GOCHS EMERCOM of Russia
Moscow Institute of physics and technology (state University)

In the article the analysis of physical nature, features of occurrence and development of thunderstorms and hail processes in the Earth's atmosphere, as well as their main effects Considered are the issues of danger of these processes for the population and territories.

Key words: the atmosphere of the Earth; hail; graduate; thunderstorm; weather conditions; weather conditions; emergency situations of natural character.

Грозы и, особенно, град наносят порой значительный материальный ущерб экономикам ряда стран, в том числе и экономике России. Нередки случаи, когда от молниевых разрядов гибнут люди. Поэтому защита населения и территорий от этих природных опасностей весьма важна.

Для того чтобы рассмотреть возможные способы защиты от указанных грозных явлений природы, прежде всего, в рамках данной статьи рассмотрим физику образования и развития грозовых и градовых облаков. Анализ научных литературных источников свидетельствует, что здесь много общего [1-17].

Рассмотрим вначале грозы. На территории Российской Федерации наблюдается большое количество гроз, особенно в летний период. Иначе говоря, грозовая активность характерна для территории нашей страны.

Гроза - это атмосферное явление, при котором в мощных кучево-дождевых облаках и между ними и землей возникают сильные электрические разряды - молнии, сопровождаемые громом [1-2].

При грозе выпадают интенсивные ливневые осадки, приводящие к наводнениям, нередко град, наблюдается сильный ветер, часто шквалистый.

В последние десятилетия исследования кучево-дождевых облаков (Cb) с помощью самолетов и локационной техники (проведенные в США, России и ряде других стран) позволили четко определить, что такие облака состоят из одной или нескольких ячеек.

Решающую роль играет знак вертикальной скорости в облаке. При этом, в зависимости от преобладания знака вертикальной скорости выделяются три стадии развития ячейки (одноячейковое облако):

- *начальная* стадия, в ходе которой в большей части ячейки движение воздуха восходящее, когда продуктами конденсации служат капли воды, некоторая часть которых в верхней части находится в замерзшем состоянии с образованием частиц крупы,

- стадия *зрелости* - характеризуется преобладанием восходящего движения в центральной части ячейки и нисходящего - на ее периферии. В этом случае, верхняя часть ячейки находится в полностью обледенелом состоянии (состоит из кристаллов льда), а в средней (большей) части облака наряду с каплями воды присутствуют частицы ледяной крупы. Далее, под влиянием увеличения веса единичного объема воздуха за счет содержащейся в нем жидкой воды в сочетании с более низкой температурой (в ячейке воздух при подъеме охлаждается влажноадиабатически, вне ее при опускании нагревается сухоадиабатически) в нижней части ячейки (и под ней) возникает нисходящее движение, которое способствует внезапному началу выпадения ливневых жидких осадков (дождевых). В свою очередь, нисходящий поток воздуха, растекаясь вблизи земной поверхности под облаком, оказывает влияние на поле ветра,

- стадия *распада,* в процессе которой наблюдается нисходящее движение воздуха, которое распространяется практически на всю ячейку. При этом подток водяного пара с восходящим потоком воздуха, позволявший обновлять влагу в облаке, в этой стадии прекращается и выпадающие осадки постепенно размывают облако [1-6].

Необходимо отметить, что первая стадия продолжается 10 - 15 мин, вторая - 15-30 мин и третья - примерно 30 мин (со значительными отклонениями в каждом конкретном случае).

Как показывает анализ литературных источников, внутримассовые грозы возникают при конвекции над сушей преимущественно в послеполуденные часы, а над морем - в ночные. В свою очередь, фронтальные грозы наблюдаются на атмосферных фронтах, т. е. на границах между теплыми и холодными воздушными массами [1-17].

Рассмотрим некоторые физические характеристики гроз. Результаты исследований показывают, что грозы возникают в мощных кучевых облаках с вершинами на высотах 7…15 км, где наблюдаются температуры ниже -15…20°С, и состоят из смеси переохлажденных капель и кристаллов. При этом, потенциальная энергия грозового облака превышает 1013…1014 Дж, иначе говоря, близка к энергии взрыва термоядерной мегатонной бомбы. Электрические заряды же грозового облака падающей молнии составляют 10…100 Кл и разнесены на расстояния до 10 км, а электрические токи достигают до 100 А. Следует отметить, что напряженность электрического поля внутри грозового облака равна (1…3) 105 Вт, а эффективная электропроводность в 100 раз меньше, чем в окружающей атмосфере, а средняя продолжительность одного грозового цикла составляет 30 мин, но иногда перед холодным фронтом образуется целый ряд мощных гроз, длящихся часами и сопровождаемых смерчами и шквалами [1-6].

Следует отметить, что последствия от удара молнии зависят от разряда между слоями атмосферы и землей. При ударе молнии может пострадать электротехническое оборудование, средства связи, электроника. На равнинной местности грозовой процесс, как правило, включает образование молний, направленных от облака к земле. Предельное напряжение пробоя, вызывающее образование ионизированного канала, составляет около 3 106 В/м. Может наблюдаться лавинный заряд, когда ступенчатый лидер движется вниз ступеньками по 50…100 м, пока не достигнет поверхности земли. При этом, когда до земной поверхности остается примерно 100 м, молния «нацеливается» на какой-либо возвышающийся предмет. В свою очередь, разряды могут достигать 80 Кл и иметь силу тока от нескольких единиц до 200 кА. Обычно сила тока быстро нарастает за первые 10…20 мс, а в следующие 200…300 мс происходит ее снижение до 20 % от амплитудной величины. Ступенчатый лидер переносит вниз отрицательный заряд, однако иногда мо-

жет переносить и положительный, при этом время нарастания, а затем уменьшения тока более продолжительно; максимальное значение заряда достигает 200 Кл, тока - 218 кА [1].

Необходимо сказать еще об одном, особом виде молнии - шаровой. Шаровая молния представляет собой уникальное электрическое явление, природа которого до настоящего времени не выявлена. Шаровая молния имеет форму светящегося шара диаметром 20…30 см. Она двигается по неправильной траектории и обладает большой удельной энергией. Длительность ее существования - от нескольких секунд до минут, а ее исчезновение может сопровождаться взрывом, вызывающим разрушения и человеческие жертвы, или происходить беззвучно [1-5].

Наблюдаются иногда вспышки невидимых и неслышимых молний при отдаленной грозе, освещающих изнутри облака, которые называются зарницами.

Опасность молний для человека и объектов экономики заключается в следующем.

Молниевые разряды обладают термическими и электродинамическими воздействиями, что приводят к опасным последствиям, связанным, прежде всего, с действием электромагнитного и светового излучения. При этом, наибольшие разрушения вызывают удары молнии в наземные объекты при отсутствии токопроводящих путей между местом удара и землей. В материале от электрического пробоя образуются узкие каналы, в которые устремляется ток молнии. За счет очень высокой температуры часть материала интенсивно испаряется со взрывом, что приводит к разрыву или расщеплению объекта, пораженного молнией, и воспламенению горючих элементов.

В случае возникновения и развития грозовых процессов серьезный ущерб населению и территориям могут нанести интенсивные градобития. Град представляет собой атмосферные осадки в виде шариков льда и смеси льда и снега, выпадающие во время прохождения холодного фронта или во время грозы. При этом небольшие градины являются простыми структурами, образующимися, когда поверхность снежных комочков тает и основа замерзает или же покрывается водяными капельками, которые затем замерзают. Следовательно, у градин имеется твердое внешнее покрытие и мягкая сердцевина. Однако крупные градины диаметром 1,2…12,5 см представляют собой более сложные структуры. Они обычно состоят из чередующихся слоев твердого и мягкого льда.

Результаты гидрометеорологических исследований свидетельствуют о том, что, как правило, град выпадает из мощных кучево-дождевых облаков при грозе и ливне. При этом частота выпадения града различна: в умеренных широтах он случается 10…15 раз в год, у экватора на суше, где более мощные восходящие потоки, - 80…160 раз в год [1-6].

Перейдем к рассмотрению физической сущности возникновения и развития градовых процессов.

Выше была кратко описана одноячейковая структура грозового облака наиболее характерная для ливневых облаков, град из них выпадает сравнительно редко (на юге России примерно в 20-30 % общего числа случаев выпадения града) и, как правило, интенсивность его невелика, диаметр таких облаков редко превышает 5 - 7 км [2].

Наиболее часто градовое облако включает несколько ячеек, каждая из которых проходит, хотя и не одновременно с другими, описанные выше стадии развития. Подобные облака носят название *мультиячейковых.* Такое облако вначале возникает как одноячейковое. Приблизительно через 15 - 20 мин от момента зарождения первой ячейки, когда она достигает стадии зрелости, на расстоянии около 20 - 30 км и, как правило, справа от общего направления движения облака возникает вторая (дочерняя) ячейка. При это дочерняя ячейка, как и первичная, проходит все три стадии развития. далее последующее возникновение новых ячеек приводит к тому, что мультиячейковое кучево-дождевое облако (чаще всего - фронтальное) может существовать несколько часов. С такими облаками связаны наиболее интенсивные ливневые осадки (4 июля 1956 г. в Юннонвилле (США) за 1 мин. выпало 30,8 мм осадков, а 25 мая в Фюссене (Германия) за 8 мин. - 124 мм), а также градобития и грозы [2].

Следует обратить внимание на то, что наблюдается значительное движение воздуха по отношению к облаку. При этом, капли и градины движутся (не отставая) по горизонтали со скоростью ветра на данном уровне. Однако облако смещается не только с воздушным потоком, но и по отношению к нему за счет образования новых ячеек.

Как правило, мультиячейковые облака имеют многокупольные вершины, которые заканчиваются "наковальнями", расположенными, как правило, на разной высоте; поскольку направление ветра изменяется с высотой, то наковальни ориентированы под большим или меньшим углом друг к другу.

Следует сказать и о том, что наиболее сильные (катастрофические) градобития связаны с формированием так называемых *суперячейковых* кучево-дождевых облаков большой вертикальной (10-15 км) и горизонтальной (15-20 км) протяженности. Благоприятные условия для их образования создаются тогда, когда наблюдается значительный (чаще всего правый) поворот скорости ветра с высотой. В этих случаях восходящий поток влажного теплого воздуха вблизи правого переднего (по отношению к направлению движения) сектора и нисходящий поток в тыловой части облака формируют мезомасштабную замкнутую циркуляцию, поддерживающую пополнение облака влагой и, следовательно, существование его в течение длительного (до нескольких часов) времени.

Так как в восходящую ветвь вовлекаются все новые и новые массы воздуха справа от облака, то траектория видимого его перемещения отклоняется вправо от направления ветра на нижних уровнях. А в передней части суперячейкового облака восходящий поток (скорость которого может достигать 50 м/с) переносит градины вверх. Преимущественно град выпадает в центральной и тыловой частях облака, где наблюдается нисходящее движение воздуха. При этом, градины растут за счет слияния и соударения с жидкими и твердыми частицами, как в восходящей, так и в нисходящей ветвях, суперячейковой циркуляции. В свою очередь, мелкие частицы, вынесенные восходящим потоком в более высокие слои, уносятся горизонтальным потоком (ветром) в передний выступ "наковальни" и, падая здесь вниз, могут оказаться вовлеченными в восходящий поток. Описанный многократный подъем и опускание частиц облака в его передней части способствуют образованию в суперячейковых Cb особенно крупных градин [1-6].

Важно отметить, что движение воздуха и траектории градин в суперячейковом Cb (с учетом изменения ветра с высотой и собственной скорости движения облака, отличной от скорости ветра) носят исключительно сложный характер.

Следует подчеркнуть, что одной из особенностей строения суперячейковых облаков являются так называемые "ниши" - области, обнаруживаемые по слабому радиолокационному отражению от них. Вероятно, что в таких областях скорость восходящего движения достигает максимума, вследствие чего ледяные частицы быстро выносятся из них, не успев вырасти до значительных размеров. При этом вершина суперячейкового Cb, как правило, однокупольная, с "наковальней" больших размеров.

Последствия градовых процессов бывают разные. Так выпадение града приводит к серьезным разрушениям населенных пунктов, объектов экономики, в том числе транспорта. Но, наибольший ущерб град наносит посевам сельскохозяйственных культур, уничтожая порой их полностью. В некоторых случаях выпадение града сопровождается человеческими жертвами. Следует отметить, что опасность интенсивных градобитий определяется диаметром (массой) градин и размерами поражаемой площади - так называемых градовых дорожек. При этом, диаметр градин увеличивается вместе со скоростью и высотой поднятия грозовых облаков.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что молниевые и градовые процессы являются серьезными природными опасностями, способными нанести значительный ущерб населению и объектам экономики и, даже, приводить к гибели людей. Поэтому требуется выработка мер по предупреждению возникновения указанных процессов, а также способов и средств защиты населения, объектов экономики и окружающей природной среды от них.

Литература

1. https://studfiles.net/preview/5908870/page:16.
2. Матвеев Л.Т. Физика атмосферы. Издание третье, переработанное и дополненное. – Санкт – Петербург: Гидрометеоиздат. - 2000.
3. Изменение погоды человеком. Проблемы национальной политики в области природных ресурсов. Перевод с английского И.М. Шейниса. Под редакцией И.П. Мазина. – М.: Издательство “Прогресс”. - 1972.
4. Мазин И.П., Шметер С.М. ОБЛАКА строение и физика образования. – Ленинград: Гидрометеоиздат. - 1983.
5. Прихотько Г.Ф. Искусственные осадки из конвективных облаков. Под общей редакцией В.Г. Морачевского. – Ленинград: Гидрометеорологическое издательство. - 1968.
6. Качурин Л.Г. Физические основы воздействия на атмосферные процессы. Экспериментальная физика атмосферы. Допущено Государственным комитетом СССР по народному образованию в качестве учебника для студентов вузов, обучающихся по специальности “Метеорология”. – Ленинград: Гидрометеоиздат. - 1990.
7. Подрезов Ю.В. Проблемные аспекты исследований по активным воздействиям на атмосферные процессы. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций», № 3 за 2015 год.
8. Подрезов Ю.В. Основные особенности формирования погодных процессов в атмосфере Земли. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций», № 5 за 2015 год.
9. Подрезов Ю.В. Особенности формирования и предупреждения опасных вихревых процессов в атмосфере Земли, основные характеристики опасных вихревых процессов. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций», №5 за 2017.
10. Агеев С.В., Подрезов Ю.В., Романов А.С., Донцова О.С. Анализ особенностей состояния атмосферы крупных городов. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций», № 3 за 2015 год.
11. Подрезов Ю.В. Обобщенный анализ современных способов и средств управления атмосферными процессами. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций», № 6 за 2016 год.
12. Подрезов Ю.В., Донцова О.С., Тимошенко З.В. Анализ современного состояния проблемы потепления климата на земле. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций», № 6 за 2016 год.
13. Подрезов Ю.В. Анализ особенностей загрязнения атмосферы городов. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций». Выпуск №2.- М.: ВИНИТИ. - 2013.
14. Агеев С.В., Подрезов Ю.В., Романов А.С., Тимошенко З.В. Современные и перспективные средства и система борьбы с опасными метеорологическими процессами, базирующиеся на электрофизических методах воздействия на атмосферные процессы. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций», № 3 за 2018.
15. Подрезов Ю.В. Особенности воздействия на метеоусловия с использованием химреагентов в интересах предупреждения чрезвычайных ситуаций природного характера. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций», № 3 за 2018.
16. Подрезов Ю.В. Современные особенности мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций», № 4 за 2018.
17. Агеев С. В., Подрезов Ю.В., Тимошенко З.В. Анализ особенностей проявления природных опасностей весной 2018 года на территории Российской Федерации: ураганы, лесные пожары, наводнения. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций», № 4 за 2018.

Сведения об авторе

Подрезов Юрий Викторович, доцент, главный научный сотрудник научно-исследовательского центра ФГБУ ВНИИ ГЧС (ФЦ); заместитель заведующего кафедрой Московского физико-технического института (государственного университета). Тел.: 8-903-573-44-84; e-mail: uvp4@mail.ru

УДК 536.4

СРАВНЕНИЕ НЕОБХОДИМЫХ ОБЪЕМОВ ВОДЫ И ВРЕМЕН ЛОКАЛИЗАЦИИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ФРОНТА ГОРЕНИЯ МОДЕЛЬНЫХ НИЗОВЫХ И СТЕПНЫХ ПОЖАРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЗАГРАДИТЕЛЬНОЙ ПОЛОСЫ

Кандидат физ.-мат. наук *А.О. Жданова, И.С. Войтков, Н.Е. Шлегель*,
доктор физ.-мат. наук *Г.В. Кузнецов*
Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Доктор техн. наук *И.Р. Хасанов*
Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России

Приведены результаты экспериментальных исследований процессов локализации модельных низовых лесных и степных пожаров с применением заградительной водной полосы в виде увлажненного слоя материала перед основным фронтом горения. Опыты выполнены с навесками хвои, листьев, травяных растений. Определены необходимые и достаточные (минимальные) размеры (ширина, протяженность, глубина) заградительных полос, а также объем воды, позволяющие локализовать распространение фронтов пламенного горения и термического разложения. Рассчитаны значения интегрального критерия – плотности орошения (удельного расхода). Выполнено сравнение скоростей термического разложения и пламенного горения исследованных материалов при разной скорости воздушного потока (для воспроизведения фактора ветра в реальных условиях), а также влияние последнего на условия и характеристики процесса локализации.

Ключевые слова: низовые лесные пожары, степные пожары, локализация, заградительная водная полоса, предельные плотности орошения, необходимые объемы воды.

COMPARISON OF THE REQUIRED VOLUMES OF WATER AND THE LOCALIZATION TIMES OF THE PROPAGATION OF THE COMBUSTION FRONT OF MODEL GRASS-ROOTS AND STEPPE FIRES WITH THE USE OBSTRUCTIVE WATER STRIP

Ph.D. (Phys.-Mat.) *A.O. Zhdanova, I.S. Voytkov, N.E. Schlegel*,
Dr. (Phys.-Mat.) *G.V. Kuznetsov*
National Research Tomsk Polytechnic University

Dr. (Tech.) *I.R. Khasanov*
All-Russian Research Institute for Fire Protection of Russian Emergency Ministry

The results of experimental studies of the processes of localization of model lower forest and steppe fires with the use of a protective water strip in the form of a moistened layer of material in front of the main combustion front are presented. The experiments were performed with hinges of needles, leaves, and herbaceous plants. The necessary and sufficient (minimum) dimensions (width, length, depth) of barrier strips, as well as the volume of water, allowing localization of the fronts of combustion and thermal decomposition are determined. The values of the integral criterion - the density of irrigation (specific consumption) are calculated. Compari-

son of the rates of thermal decomposition and combustion of the investigated materials at different airspeed (for the reproduction of the wind factor in real conditions) and the influence of the latter on the conditions and characteristics of the localization process are compared.

Keywords: grass-roots forest fires, steppe fires, localization, obstructive water strip, limiting densities irrigation, necessary volumes of water.

Введение

По условиям, механизмам и основным характеристикам (последние существенно отличаются [1–12]) принято разделять [13–18] неконтролируемые возгорания, переходящие в пожары, на техногенные, полевые, низовые, верховые и смешанные лесные, торфяные, степные пожары, а также в зданиях и на различных транспортных средствах. Наиболее масштабные последствия (социальные, экономические, экологические) имеют пожары в непосредственной близости от населенных пунктов [16–18]. К таким, в первую очередь, относят низовые лесные и степные пожары [16–18]. При этом большинство заключений специалистов сводится к тому, что в реальной практике чрезвычайно сложно полностью подавить горение в таких условиях и целесообразно сосредоточиться на разработке технологий локализации очагов горения [19, 20].

Важность решения данных проблем обусловлена тем, что продукты горения, которые образуются во время пожара, как правило, чрезвычайно токсичные [21–25]. Кроме этого, твердые и газообразные продукты сгорания сильно загрязняют атмосферу и создают дымовую завесу, способствующую глобальным климатическим изменениям [21–25].

Среди современных способов локализации низовых лесных и степных пожаров наиболее часто применяют так называемые заградительные полосы [26, 27] в виде рвов, канав, просек, увлажненных материалов (т.е. пропитанных разными жидкостными составами). Одна из основных особенностей таких пожаров состоит в их скоротечности. Для эффективной борьбы с пожарами с момента обнаружения очага возгорания и до принятия каких-либо мер по его тушению должно быть затрачено минимальное время. При этом особое положение в подобных мероприятиях занимает непосредственная организация и подготовка средств по устранению пожара [14–17]. Поэтому важно упростить процедуры организации заградительных полос и их состав. Наиболее простая схема включает увлажнение слоя ЛГМ заданной ширины, протяженности и глубины (часто считают толщиной) перед фронтом горения [19, 20]. Однако пока мало экспериментальных данных о минимальных значениях размеров полос и объемах воды, обеспечивающих локализацию степных и низовых лесных пожаров [19, 20].

Цель настоящей работы – обоснование по результатам экспериментальных исследований необходимых и достаточных условий локализации распространения фронта горения моделей низовых и степных пожаров с применением водной заградительной полосы (увлажнения материала заранее перед основным фронтом горения).

Экспериментальный стенд, макеты очагов, методики

В качестве типичных горючих материалов в проведенных опытах использовались: хвоя сосны, листья березы, смесь ЛГМ (листья березы – 25 %; хвоя сосны – 15 %; ветки лиственных пород деревьев – 60 %), совокупность травянистых растений. Контроль параметров отдельных элементов (в частности, размеров) и в целом навески горючего материала (влажность, плотность засыпки, размеры) выполнялся аналогично методикам [19, 20]. Основное отличие настоящей работы от опытов [19, 20] заключалось в выполне-

нии сравнительного анализа условий и характеристик локализации горения навесок ЛГМ и травянистых растений с целью изучения параметров эффективной локализации их горения при применении заградительной водной полосы перед фронтом пиролиза и пламенного горения. Масса навесок составляла около 45 г. Материал укладывался равномерно в металлический поддон с размерами: длина 300 мм, ширина 200 мм, глубина 40 мм. Плотность навески во всех опытах выдерживалась средней (30–40 кг/м^3) относительно реального возможного диапазона в реальной практике (вследствие многолетнего уплотнения опада).

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Показан нагнетатель воздуха для воспроизведения фактора ветра (варьировалась скорость потока воздуха U_a). Со стороны нагнетателя инициировалось горение навески по всей ширине с помощью пъезозажигательных элементов (рис. 1). Перед фронтом горения (т.е. заранее за несколько минут) проливалась заградительная полоса с фиксированными размерами и объемом воды. С помощью трех термопар (платинородий-платиновые, диапазон температур - 50–1500 °С, систематическая погрешность измерения 1,5°С, время теплового запаздывания 0,1 с), расположенных на разной глубине в слое ЛГМ, тепловизора (Testo 885-2) и видеокамеры (Sony HDR CX240E) регистрировались условия продвижения фронтов пламенного горения и пиролиза по навеске, торможение за счет заградительной полосы и последующее полное прекращение химического реагирования в навеске (критерий – снижение температуры в слое материала меньше значения, соответствующего началу термического разложения, для всех материалов принималось общее значение около 150°С). Размеры заградительной полосы и объем используемой воды варьировались для определения необходимых и достаточных условий локализации.

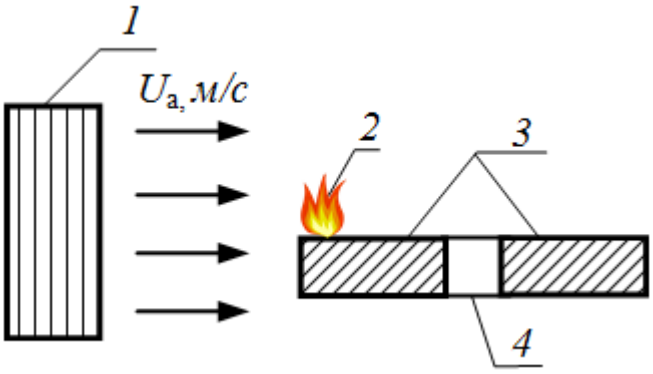

Рис. 1. Схема эксперимента:
1 – нагнетатель, *2* – поджог, *3* – сухой ЛГМ, *4* – заградительная полоса

Следует отметить, что с учетом результатов опытов [19, 20] в настоящей работе средний размер капель аэрозоля для генерации полосы составил R_d=0.08–0.1 мм. Это обусловлено тем, что для высокопористых навесок горючих материалов необходимо удерживание выливаемой воды во всех слоях. Особенно этот фактор важен для хвоинок и травянистых растений. Траектории и скорости распространения фронтов пиролиза и пламенного горения чрезвычайно сложные в отличие от листвы. Лишь при использовании мелкодисперсных аэрозолей можно обеспечить практически равномерное распределение влаги по слоям навески. В случае хвои этот фактор является определяющим, так

как фронт пиролиза довольно часто обходил заградительную полосу под слоем увлажненного материала. Контроль размеров капель при впрыске в зону заградительной полосы выполнялся заранее, т.е. в тестовых экспериментах с применением высокоскоростного кросскорреляционного комплекса и оптических методов регистрации («Shadow Photography» и «Interferometry Particle Imagine»), описанных в работах [19, 20].

Результаты и обсуждение

На рис. 2 приведены установленные по результатам опытов типичные тренды изменения температуры в разных сечениях навески (т.е. в области перед заградительной полосой, непосредственно в увлажненной части навески и за ней). Тренды представлены для одинаковой скорости воздушного потока 1,3 м/с и четырех типов материалов.

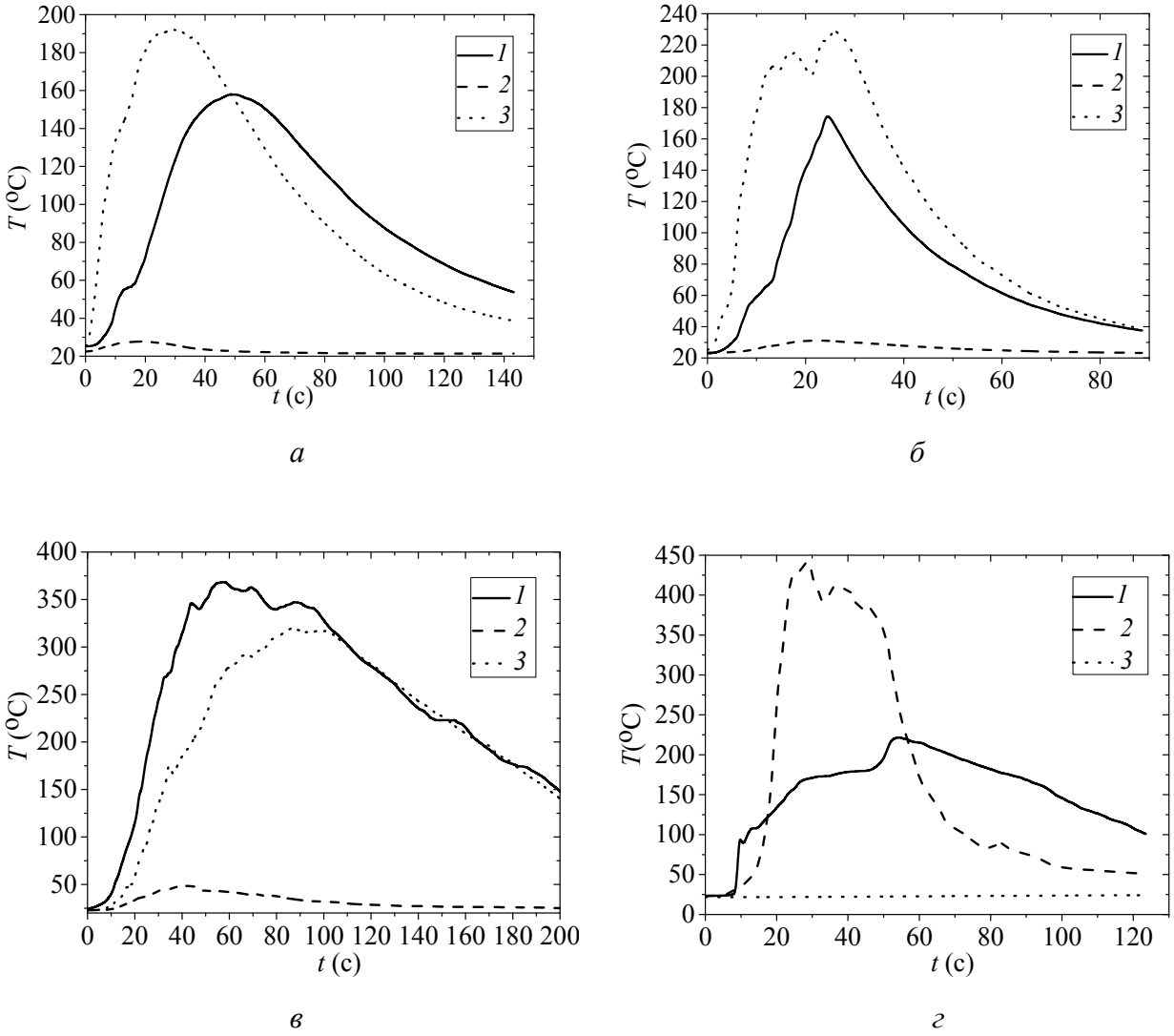

Рис. 2. Особенности распространения фронтов пламенного горения и пиролиза в навесках при воспроизведении условий низовых лесных и степных пожаров: *а* – листва (1.3 м/с), *б* – трава (1.3 м/с), *в* – смесь ЛГМ (1.3 м/с), *г* – хвоя (1.3 м/с); *1* – выгорающий фронт, *2* – заградительная полоса, *3* – основной фронт горения

На рис. 2 хорошо видно, что во всех экспериментах увлажненная полоса навески перед основным фронтом горения выполняет ключевую задачу, т.е. сдерживает его распространение. Непосредственно в области заградительной полосы, т.е. увлажненного материала перед фронтом горения температура не поднималась выше 40–50°С даже в случае высококалорийной (за счет наличия веточек) смеси ЛГМ. Если сравнивать реакционные способности исследованных навесок, то хвоя, как и следовало, ожидать представляет наиболее пожароопасный материал. Его разложение и пламенное горение сопровождается резким ростом температуры. Поэтому в опытах с хвоей регистрировались максимальные температуры во фронте горения, но довольно быстрое снижение температуры за ним (вследствие высоких скоростей выгорания).

При сравнении всех рассмотренных ЛГМ и травянистых растений можно отметить довольно близкие тренды с листвой. Скорее всего, это обусловлено близкими механизмами распространения фронтов пиролиза и пламенного горения. В частности, сравнительный анализ показаний термопар, тепловизора и видеокамеры позволил отметить, что фронты пиролиза и пламенного горения в случае навески листьев распространяются лишь по приповерхностному слою. Глубинные слои навески практически не вступают в реакции термического разложения (этим обусловлено минимальные времена локализации горения таких навесок на рис. 3, так как достаточно подавить реагирование в приповерхностном слое). В опытах с хвоей же регистрировались эффекты достаточно быстрого распространения фронтов пиролиза в глубинные слои. Как следствие, для полного прекращения горения требовались большие времена локализации (рис. 3). Для смеси материалов этот параметр был максимальным вследствие высокой роли веточек, имеющих значительную теплоту сгорания. Поэтому существенно отличаются скорости выгорания (рис. 4) и необходимые объемы воды для прекращения горения (рис. 5).

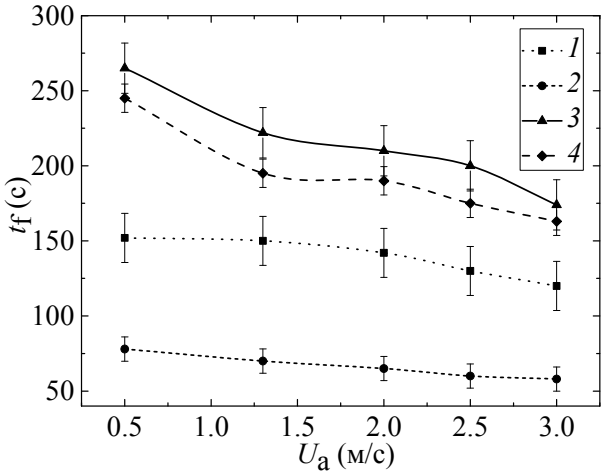

Рис. 3. Зависимость времени полной локализации процессов термического разложения и горения от скорости воздушного потока при рассмотрении различных типов ЛГМ:
1 – хвоя, *2* – листья, *3* – смесь ЛГМ, *4* – травянистые растения

Приведенные на рис. 3 зависимости иллюстрируют влияние структуры горючего материала (лесного и степного) на длительность процесса локализации соответствующих фронтов. Наиболее длительными являются процессы подавления пиролиза сухой травы и смеси ЛГМ. Это обусловлено, очевидно, их высокой пористостью и большой проницаемостью. Влага, поступающая к поверхности слоя даже достаточно густой травы, быстро

проходит через нее и впитывается грунтом (в экспериментах уходила в водосборник под поддоном горючего материала). Смеси листьев, хвоинок и веточек также соответствуют наиболее высокие (из рассмотренных материалов) пористости и, соответственно, проницаемости. Это обусловлено существенно отличающимися характерными размерами элементов этих смесей (хвоинки – доли миллиметров, листья – единицы миллиметров, веточки – десятки миллиметров). В результате смешения таких существенно разнородных компонентов, как правило, образуются навески с очень высокой (по сравнению с другими материалами) пористостью. Вода за малый интервал времени проходит через поры ЛГМ и не оказывает быстрого влияния на процесс горения слоя материала, прилегающего к полосе увлажненного материала (заградительной полосы).

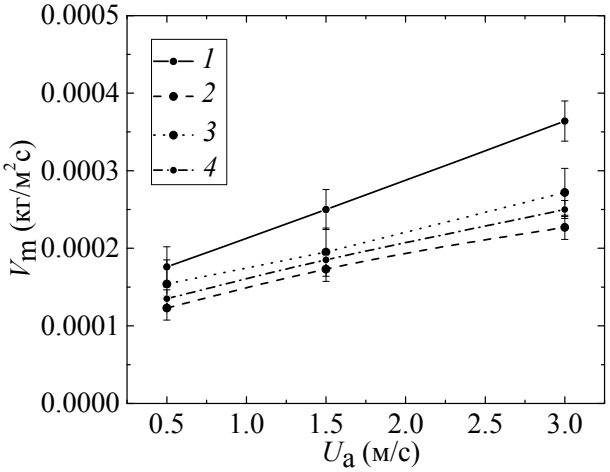

Рис. 4. Зависимость массовой скорости выгорания ЛГМ (с учетом пламенного горения и термического разложения в слое лесной подстилки) от скорости распространения воздушного потока:
1 – хвоя, *2* – смесь ЛГМ, *3* – листья, *4* – травянистые растения

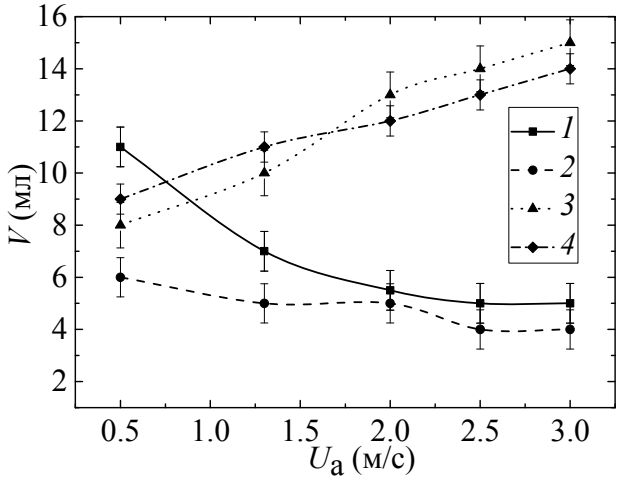

Рис. 5. Зависимость минимального объема тушащей жидкости, необходимого для подавления пламенного горения и термического разложения ЛГМ от скорости воздушного потока при горении различных типов ЛГМ: *1* – хвоя, *2* – листья, *3* – смесь ЛГМ, *4* – травянистые растения

Листья, как правило, в природе укладываются достаточно плотными слоями (в экспериментах навески формировались с учетом этих особенностей). Поэтому распыленная вода не проходила на большую глубину и не уходила в грунт (или в поддон в экспериментах), поглощая при нагреве теплоту, поступающую из зоны горения ЛГМ, за счет теплоемкости и фазовых превращений (испарения). Проницаемость для воды листьев минимальна по сравнению с другими исследовавшимися материалами.

Хвоя занимает по времени локализации реакции промежуточное положение по сравнению с листьями и травой по двум причинам. Во-первых, хвоя достаточно легко уплотняется под действием собственного веса и в связи с малыми размерами (по сравнению с листьями и веточками). В результате пористость и проницаемость слоя хвои существенно больше аналогичного параметра для травы и смеси. Во-вторых, большему уплотнению структуры способствуют малые характерные размеры хвоинок, а также их малая жесткость по сравнению с веточками и листьями. Хвоинки достаточно легко деформируются под действием внешних нагрузок (например, снега или дождя в природных условиях) и заполняют поры. Соответственно, условия прохождения воды через хвою хуже, чем у травы и смеси.

Приведенные на рис. 3–5 значения параметров дают основания для оценки влияния скорости движения воздушного потока (ветра в природных условиях) на время локализации горения исследовавшихся материалов. Хорошо видно, что это влияние в диапазоне изменения скоростей от 0,5 м/с до 3 м/с на время локализации горения листьев несущественно (максимальные отличия соответствуют доверительным интервалам, показанным на рис. 3 вертикальными линиями, проходящими через экспериментальные точки). Аналогичная связь времени локализации и скорости воздушного потока видна и для хвои. Но у высокопористых горючих материалов влияние воздушного потока более значительно (рис. 3–5). Последнее, скорее всего, обусловлено тем, что с ростом скорости потока воздуха интенсифицируются процессы дробления капель воды при их столкновениях. Чем выше скорости воздуха, тем интенсивнее дробление первых капель в аэрозольном облаке. Образующиеся мелкие капли проходят через пористую структуру горючих материалов медленнее, чем большие (лучше задерживаются, например, отдельными травинками или хвоинками). В результате поступившая к поверхности высокопористого горючего материала вода аккумулируется в тонком приповерхностном слое (не проходит в грунт или поддон в эксперименте) и поглощает теплоту, поступившую из области горения.

Существенно менее значимое влияние скорости воздушного потока на времена локализации установлено для ЛГМ на основе листьев. В этом случае поверхность материала, как показали проведенные эксперименты покрыта тонкой пленкой воды. Последняя играет важную роль, как было отмечено выше, в регулировании теплового баланса в окрестности заградительной полосы. Увеличение скорости движения капель воды при их приближении к поверхности пленки не оказывает значимого влияния на времена локализации горения ЛГМ, основу которого составляют листья.

Представленные на рис. 3–5 результаты опытов дают основание для обоснованного вывода о том, что эффективность применения водных заградительных полос существенно зависит от вида лесов, и этот фактор необходимо учитывать при планировании и организации процессов локализации низовых лесных и степных пожаров. В частности, при обобщении результатов опытов рассчитаны значения так называемой эффективной плотности орошения (по сути удельного расхода воды) для обеспечения минимальных достаточных условий локализации горения исследованных навесок (рис. 6).

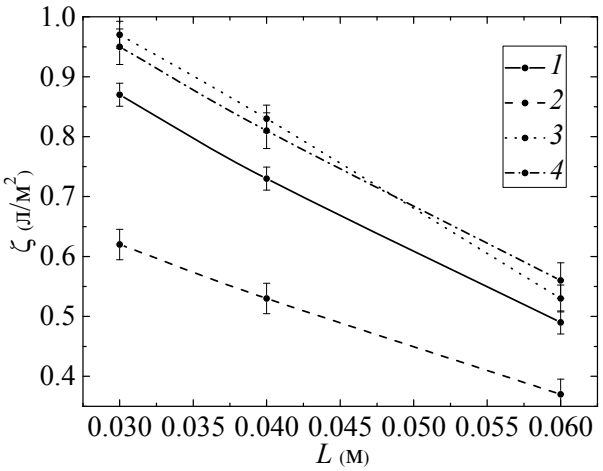

Рис. 6. Зависимость плотности орошения от ширины заградительной полосы (U_a≈1.3м/с):
1 – хвоя, *2* – листья, *3* – травянистые растения, *4* – смесь ЛГМ

При сравнительном анализе рис. 6 можно сделать несколько выводов. В частности, установлено, что типичные для степей травянистые растения по удельным характеристикам локализации горения близки к смесям типичных ЛГМ. Также проведенные эксперименты показали, что необходимый минимальный объем тушащей жидкости (воды), вылитой в заградительную полосу, для травянистых растений больше чем для других типов ЛГМ при малых скоростях воздушного потока. При увеличении скорости потока, объем тушащей жидкости растет (однако не так значительно, как для смеси ЛГМ). Т.е. в случае травянистых растений параметры заградительной полосы будут меньше зависеть от скорости воздушного потока. Важно правильно выбрать объем воды и размеры полосы. Можно использовать установленные зависимости, приведенные на рис. 6. Они представляют наибольшую практическую ценность для достоверного прогнозирования минимальных параметров распыления воды в зону горения и перед фронтом.

Выводы

1. Выполненная высокоскоростная видеорегистрация и малоинерционные термопарные измерения позволили установить существенно отличающиеся механизмы, условия и характеристики термического разложения лесных горючих материалов: хвоя, листья, смесь с веточками. В частности, для хвои характерны процессы продвижения фронтов пиролиза как в глубинные слои навески, так и по ее поверхности в соответствии с направлением ветра. В опытах с листьями глубинные слои прогревались долго. В течение этого времени весь приповерхностный слой выгорает. Для моделей очагов степных пожаров установлены механизмы и условия, хорошо коррелирующие с хвоинками.

2. Для локализации пиролиза при низовых лесных и степных пожарах необходимо и достаточно организовать перед фронтом горения специализированную заградительную полосу в виде увлажненного слоя материала. При этом размеры такой полосы и объем необходимой воды (соответственно, и удельный расход воды или плотность орошения) для хвоинок и растительных материалов отличаются незначительно.

3. Для борьбы с фронтами горения при низовых лесных и степных пожарах наиболее рациональной, безопасной и достаточной схемой распыления воды является формирование за-

градительной полосы перед фронтом. Основной параметр для специалистов – эффективная плотность орошения, позволяющая обеспечить требуемую ширину, длину и глубины полосы. При этом нет существенных ограничений по времени распыления воды в области полосы.

Исследования выполнены за счет средств Гранта Российского научного фонда (проект 18–19–00056). Авторы выражают благодарность сотрудникам Лаборатории моделирования процессов тепломассопереноса Национального исследовательского Томского политехнического университета (http://hmtslab.tpu.ru) за помощь в проведении экспериментальных исследований.

Литература

1. Merino L., Caballero F., Martínez-De-Dios J. R., Maza I., Ollero A. An unmanned aircraft system for automatic forest fire monitoring and measurement // Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications. - 2012. V. 65, № 1–4. P. 533–548.
2. Москвилин Е.А. Применение авиации для тушения лесных пожаров // Пожарная безопасность. - 2009. №1. С.89–92.
3. Копылов Н.П., Хасанов И.Р., Кузнецов А.Е., Федоткин Д.В., Москвилин Е.А., Стрижак П.А., Карпов В.Н. Параметры сброса воды авиационными средствами при тушении лесных пожаров // Пожарная безопасность. - 2015. № 2. С. 49–55.
4. Thompson M.P., Calkin D.E., Herynk J., McHugh C.W., and Short K.C. Airtankers and wildfire management in the US Forest Service: examining data availability and exploring usage and cost trends // International Journal of Wildland Fire. - 2012. V. 22, № 2. P. 223–233.
5. Calkin D.E., Stonesifer C.S., Thompson M.P. McHugh C.W. Large airtanker use and outcomes in suppressing wildland fires in the United States // International Journal of Wildland Fire. - 2014. V. 23, № 2. P. 259–271.
6. Гончикжапов М.Б., Палецкий А.А., Коробейничев О.П. Кинетика пиролиза лесных горючих материалов в инертной / окислительной среде при быстром и медленном темпах нагрева // Сиббезопасность-спассиб. - 2012. №1. С. 38–44.
7. Субботин А.Н. Математическая модель распространения низового лесного пожара по подстилке или слою опада хвои // Пожарная безопасность. -2008. № 1. С. 109–116.
8. Асеева Р.М., Серков Б.Б., Сивенков А.Б. Горение и пожарная опасность древесины // Пожаровзрывобезопасность. - 2012. Т. 21, №1. С. 19–32.
9. Vysokomornaya O.V., Kuznetsov G.V., Strizhak P.A. Experimental investigation of atomized water droplet initial parameters influence on evaporation intensity in flaming combustion // Fire Safety Journal. - 2014. V. 70. P. 61–70.
10. Коробейничев О.П., Шмаков А.Г., Чернов А.А., Большова Т.А., Шварцберг В.М., Куценогий К.П., Макаров В.И. Тушение пожаров с применением аэрозолей растворов солей // Физика горения и взрыва. - 2010. Т. 46, № 1. С. 20–25.
11. Snegirev A.Yu., Tsoy A.S. Treatment of local extinction in CFD fire modeling // Proceedings of the Combustion Institute. - 2015. V. 35, № 3. P. 2519–2526.
12. Korobeinichev O.P., Shmakov A.G., Shvartsberg V.M., Chernov A.A., Yakimov S.A., Koutsenogii K.P., Makarov V.I. Fire suppression by low-volatile chemically active fire suppressants using aerosol technology // Fire Safety Journal. - 2012. V. 51. P. 102–109.
13. Барановский Н.В., Кузнецов Г.В. Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий, Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения РАН. - 2009.
14. Доррер Г.А. Математические модели динамики лесных пожаров. – М.: Лесная промышленность. - 1979.
15. Конев Э.В. Физические основы горения растительных материалов. – Новосибирск: Наука. - 1977.
16. Гришин А.М. Математические модели лесных пожаров. – Томск: Издательство Томского университета. - 1981.
17. Щетинский, Е.А. Тушение лесных пожаров / Е.А. Щетинский. – Москва: ВНИИЛМ. - 2002. – 104 с.

18. Высокоморная О.В., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Испарение и трансформация капель и больших массивов жидкости при движении через высокотемпературные газы. Новосибирск: Издательство СО РАН. - 2016. 302 с.
19. Volkov R.S., Kuznetsov G.V., Strizhak P.A. Experimental Study of the Suppression of Flaming Combustion and Thermal Decomposition of Model Ground and Crown Forest Fires // Combustion, Explosion, and Shock Waves. - 2017. V. 53. No 6. P. 678–688.
20. Войтков И.С., Волков Р.С., Жданова А.О., Кузнецов Г.В., Накоряков В.Е. Физико-химические процессы при взаимодействии аэрозоля с фронтом горения лесных горючих материалов // Прикладная механика и техническая физика. - 2018. Т. 59, №5, С. 1–13
21. Zhang X., Kondragunta S. Temporal and spatial variability in biomass burned areas across the USA derived from the GOES fire product // Remote Sensing of Environment. - 2008. V. 112. P. 2886–2897.
22. Haas J.R., Calkin D.E., Thompson M.P. Wildfire risk transmission in the Colorado front range, USA // Risk Analysis. - 2015. P. 226–240.
23. Ager A.A., A. Day M., Finney M.A., Vance-Borland K., Vaillant N.M. Analyzing the transmission of wildfire exposure on a fire-prone landscape in Oregon, USA // Forest Ecology and Management. 2014. P. 377–390.
24. Reilly M.J., Elia M., Spies T.A., Gregory M.J., Sanesi G., Lafortezza R. Cumulative effects of wildfires on forest dynamics in the eastern Cascade Mountains, USA // Ecological Applications. - 2018. Vol 28. P. 291–308.
25. Dowdy A.J. Climatological variability of fire weather in Australia // Journal of Applied Meteorology and Climatology. - 2018. Vol 57. P. 221–234.
26. Лощилова Н.А., Беляев И.В., Эффективность тушения лесного пожара при комбинировании естественной и искусственной преград // Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире. - 2015. № 12-3. С. 31–32.
27. Ерицов А.М., Гусев В.Г., Совершенствование технологий создания заградительных и опорных полос при тушении лесных пожаров в зонах лесоавиационных работ // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. - 2016. № 1 (29). С. 42–56.

Сведения об авторах

Жданова Алена Олеговна, старший преподаватель Исследовательской школы физики высокоэнергетических процессов, Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Россия, 634050, г. Томск, проспект Ленина 30. Рабочий телефон: 8 (3822) 701-777, доп. 3461 E-mail: zhdanovaao@tpu.ru

Войтков Иван Сергеевич, аспирант Исследовательской школы физики высокоэнергетических процессов, Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Россия, 634050, г. Томск, проспект Ленина 30. E-mail: zent91@mail.ru

Шлегель Никита Евгеньевич, магистрант Исследовательской школы физики высокоэнергетических процессов, Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Россия, 634050, г. Томск, проспект Ленина 30. E-mail: nik.shlegel.ask@gmail.com

Хасанов Ирек Равильевич, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России. Россия 143903, Московская область, г. Балашиха, мкр. ВНИИПО 12. телефон: 8 (495) 521-87-27 E-mail: irhas@rambler.ru

Кузнецов Гений Владимирович, профессор, главный научный сотрудник Инженерной школы энергетики, Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Россия, 634050, г. Томск, проспект Ленина 30. Рабочий телефон: 8 (3822) 563-613. E-mail: kuznetsovgv@tpu.ru

УДК 351.862

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, КОТОРЫЕ НЕОБХОДИМО УЧИТЫВАТЬ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА КОМПЛЕКСНОЙ МАСКИРОВКИ ОБЪЕКТОВ ОРГАНИЗАЦИИ И АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЕЁ ЭЛЕМЕНТАМИ

Кандидат техн. наук *И.В. Курличенко*, кандидат техн. наук *В.Ю. Глебов*, *А.В. Руденко*

ФГБУ ВНИИ ГОЧС

Определены основные проблемные вопросы, возникающие при подготовке проектной документации по модернизации и проектированию объектов капитального строительства, в части определения состава и объема маскировочных мероприятий, а также представлены на них ответы, подготовленные в соответствии с действующей нормативной и методической базой в области гражданской обороны.

Ключевые слова: проектирование объектов капитального строительства, автоматизированная система управления маскировкой, технический проект, комплексная маскировка объектов организации.

THE MAIN PROVISIONS THAT MUST BE TAKEN INTO ACCOUNT WHEN DEVELOPING A TECHNICAL PROJECT FOR THE COMPLEX MASKING OF THE ORGANIZATION'S FACILITIES AND AN AUTOMATED SYSTEM THAT PROVIDES FOR THE CENTRALIZED MANAGEMENT OF ITS ELEMENTS

Ph.D. (Tech) *I.V. Kurlichenko*, Ph.D. (Tech) *V.J. Glebov*, *A.V. Rudenko*

All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies

The main problematic issues arising in the preparation of project documentation for the modernization and design of capital construction facilities, in terms of determining the composition and scope of camouflage measures, as well as answers to them, prepared in accordance with the current regulatory and methodological framework in the field of civil defense.

Keywords: design of capital construction facilities, automated masking control system, technical design, complex masking of the organization's facilities.

В настоящее время МЧС России осуществляет планомерное и систематизированное «обустройство» комплексом системных требований реализации задач и мероприятий по гражданской обороне, направленных, в том числе на комплексную маскировку объектов и территорий.

Принятые Минстроем России СП 165.1325800.2014 «Инженерно-технические мероприятия по гражданской обороне. Актуализированная редакция СНиП 2.01.51-90» [1] и СП 264.1325800.2016 «Световая маскировка населенных пунктов и объектов народного хозяйства. Актуализированная редакция СНиП 2.01.53-84» [2] формируют систему требований по организации проектирования, планирования и ведения маскировочных мероприятий, в тоже время отдельные положения настоящих сводов правил требуют методического разъяснения.

Так в частности разработчиками проектной документации на объект капитального строительства часто задается вопрос, кем и в каком объеме выполняется разработка технического проекта комплексной маскировки объектов организации и автоматизированной системы, обеспечивающей централизованной ее управление ее элементами (средствами), какие стадии: проектная, рабочая документация?

Разработка технического проекта комплексной маскировки объектов организации и автоматизированной системы, обеспечивающей централизованное управление ее элементами осуществляется проектной организацией в объеме, определяемом разработчиком (проектной организацией), согласно требований п. 6 «Перечень мероприятий по гражданской обороне, мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» ГОСТ Р 55201-2012 [3] и п. 5.3.3 СП 264.1325800.2016.

Перед началом проведения проектных изысканий специалистами должна быть выполнена идентификация потенциальных опасностей военного характера, представляющих угрозу для устойчивого функционирования проектируемого объекта капитального строительства при ведении военных конфликтов или вследствие их ведения.

Исходными данными для начала выполнения подобных работ будут являться сведения:

об удаленности объекта капитального строительства от границы Российской Федерации, может быть определена в том числе с учетом задействования ресурсов открытых геоинформационных систем;

о вероятных типах современных средств поражения, которые могут быть применены по объекту капитального строительства (определяется согласно приложению П СП 264.1325800.2016);

о средствах ведения разведки и целеуказания противника (определяется согласно приложению П СП 264.1325800.2016);

о характере производственной деятельности объекта капитального строительства, в части создаваемых оборудованием и сооружениями проектируемого объекта демаскирующих признаков (далее – «маски» объекта) во всем спектре электромагнитных излучений (далее – ЭМИ), упругих колебаний, гравитации (вибрации) и характерных излучений радиоэлектронных средств объекта;

о расположении объекта капитального строительства на территориях: отнесенных к группам по гражданской обороне; населенных пунктов с расположенными на их территориях организациями, отнесенными к категориям по гражданской обороне; зон вероятного пролета средств доставки и средств поражения к целям; приграничных населенных пунктов (направляется запрос в Главное управление МЧС России по субъекту Российской Федерации, где планируется возведение объекта капитального строительства);

о техногенных и природных «ориентирных указателях» на прилегающей к объекту капительного строительства территории[1], по которым может быть выполнена ориентирная «привязка» расположения объекта и осуществлено наведение средств поражения (проводится экспертная оценка территории возведения объекта капитального строительства);

о планируемом составе оборудования и сооружений объекта и их физических параметрах;

о природных и климатических особенностях территории планируемого возведения объекта капитального строительства и т.д.

---

[1] В пределах санитарно-защитной зоны (СЗЗ) объекта организации. Размеры СЗЗ определяются нормативным документом «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» (СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03). Для промышленных объектов, сооружений, являющихся источниками воздействия на среду обитания в соответствии с санитарной классификацией промышленных объектов и производств устанавливаются следующие ориентировочные размеры санитарно-защитных зон: промышленные объекты и производства первого класса - 1000 м; промышленные объекты и производства второго класса - 500 м; промышленные объекты и производства третьего класса - 300 м; промышленные объекты и производства четвертого класса - 100 м; промышленные объекты и производства пятого класса - 50 м.

Проектные «изыскания» должны предполагать непосредственное ознакомление специалистов, осуществляющих проектирование, с территорией предполагаемого строительства объекта, с целью проведения замеров «естественных» параметров территории возведения объекта капитального строительства, зачастую проектными организациями полностью игнорируется практическое ознакомление с территорией предполагаемого возведения или модернизации объекта капитального строительства, что, несомненно, сказывается на «качестве» разработки проектной документации на объект, в том числе по его проектированию мероприятий по его маскировке.

Замеры на площадках планируемого возведения объекта капитального строительства должны проводиться в оптическом, радиолокационном[2] и тепловом (инфракрасном) спектрах – цифровыми камерами (фотоаппаратами) высокого разрешения, радиолокационными станциями (сантиметрового и дециметрового диапазонов длин волн) и тепловизорами, с применением специальной техники (зондов, БПЛА и т.п.), обеспечивающей высотную «съемку» участка местности. На основе проведенных замеров формируются эталонные «оптическая» и «тепловая» маски территории объекта капитального строительства.

На основе полученных сведений формируется комплекс инженерно-технических мероприятий, определяются методы и состав необходимых технических средств маскировки объекта капитального строительства.

Согласно п. 5.3.3 СП 264.1325800.2016 проектирование мероприятий комплексной маскировки объектов организаций предусматривает:

выявление ориентирных указателей на территории, прилегающей к объектам, подлежащим маскировке, и определение их демаскирующих показателей;

определение демаскирующих параметров объектов организации, подлежащих маскировке;

выбор методов и определение состава технических средств, обеспечивающих комплексную маскировку объектов организации (согласно положениям разделов 6, 7, 8 СП 264.1325800.2016);

разработку технического проекта системы комплексной маскировки объектов организации и автоматизированной системы, обеспечивающей централизованное управление ее элементами (средствами).

Технический проект системы комплексной маскировки разрабатывается с учетом требований ГОСТ 2.120-2013 «Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Технический проект» [4], проектирование автоматизированной системы управления маскировкой выполняется с учетом требований ГОСТ 34.601-90 «Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания» [5] и выносится в отдельное приложение согласно положению п. 6.2.1 пп. ***и*** ГОСТ Р 55201-2012.

При этом оборудование и системы комплексной маскировки могут не развертываться при строительстве и эксплуатации объектов организации в мирное время. Их развертывание должно быть спланировано в составе мероприятий плана комплексной маскировки объектов и территории организации (согласно требованиям п. 16.5 приказа МЧС России от 14.11. 2008 № 687 «Об утверждении Положения об организации и ведении гражданской обороны в муниципальных образованиях и организациях») [6]. В этом случае организационным и планирующим документами в организации должно быть предусмотрено накопление соответствующего оборудования как имущества ГО в организации согласно требованиям Методических рекомендаций по определению номенклатуры и объемов

[2] Для особо важных объектов имеющих ключевое значение для отраслей промышленности (например – АЭС), для остальных объектов вполне достаточно создание оптической и тепловой «маски» маскируемой территории.

создаваемых в целях гражданской обороны запасов материально-технических, продовольственных, медицинских и иных средств, накапливаемых федеральными органами исполнительной власти, органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации, органами местного самоуправления и организациями (утв. МЧС России 23 мая 2017 г. № 2-4-71-24-11) [7].

При определении применяемых для маскировки объекта капитального строительства типов и видов средств маскировки должно обеспечиваться их соответствие требованиям разделов 7 и 8 СП 264.1325800.2016, предъявляемым к «активным» и «пассивным» средствам маскировки.

Применение технических средств и оборудования для комплексной маскировки объектов и территорий организации не требует привлечения специальных подразделений Минобороны и МЧС России, так как практически все представленные в своде правил, технические средства маскировки производятся российскими предприятиями, находятся в открытой продаже, и их характеристики могут быть уточнены проектной организацией у производителей технических средств самостоятельно.

Другими актуальными и часто задаваемыми при проектировании вопросами, являются, уточнение требований в части кем должны определяться ориентирные указатели на территории, прилегающей к объектам, подлежащим маскировке и определение их демаскирующих показателей, и кем должны определяться демаскирующие параметры объектов организации, подлежащих маскировке?

Определение ориентирных указателей на территории, прилегающей к объектам, подлежащим маскировке и определение их демаскирующих показателей должно осуществляться органами, осуществляющими управление гражданской обороной в муниципальных образованиях и организациях на территориях муниципальных образований и объектах организаций соответственно, основание приказ МЧС России от 14.11.2008 № 687 «Об утверждении Положения об организации и ведении гражданской обороны в муниципальных образованиях и организациях», в котором определено:

- п.15 «Органы местного самоуправления в целях решения задач в области гражданской обороны планируют и осуществляют следующие основные мероприятия:

15.5. По световой и другим видам маскировки:

определение перечня объектов, подлежащих маскировке;

разработка планов осуществления комплексной маскировки территорий, отнесенных в установленном порядке к группам по гражданской обороне;

создание и поддержание в состоянии постоянной готовности к использованию по предназначению запасов материально-технических средств, необходимых для проведения мероприятий по световой и другим видам маскировки;

проведение инженерно-технических мероприятий по уменьшению демаскирующих признаков территорий, отнесенных в установленном порядке к группам по гражданской обороне»;

- п.16 «Организации в целях решения задач в области гражданской обороны планируют и осуществляют следующие основные мероприятия:

16.5. По световой и другим видам маскировки:

определение перечня зданий и сооружений, подлежащих маскировке;

разработка планов осуществления комплексной маскировки организаций, являющихся вероятными целями при использовании современных средств поражения;

создание и поддержание в состоянии постоянной готовности к использованию по предназначению запасов материально-технических средств, необходимых для проведения мероприятий по маскировке;

проведение инженерно-технических мероприятий по уменьшению демаскирующих признаков организаций, отнесенных в установленном порядке к категориям по гражданской обороне»;

- п. 12 приказа также гласит: «Органами, осуществляющими управление гражданской обороной в муниципальных образованиях (организациях), являются структурные подразделения (работники), уполномоченные на решение задач в области гражданской обороны».

С учетом вышеприведенного приказа вполне очевидно, кем производится выбор методов и определение состава технических средств, обеспечивающих комплексную маскировку объектов организаций, указанные мероприятия должны осуществляться органами, осуществляющими управление гражданской обороной в муниципальных образованиях и организациях на территориях муниципальных образований и объектах организаций соответственно.

При проектировании объекта капитального строительства проектной организацией должно быть подготовлено решение по выбору методов и определению состава технических средств, обеспечивающих комплексную маскировку объекта капитального строительства, которое должно быть согласовано с органом, осуществляющим управление гражданской обороной организации выдавшей задание на проектирование объекта капитального строительства.

Литература

1. СП 165.1325800.2014 «Инженерно-технические мероприятия по гражданской обороне. Актуализированная редакция СНиП 2.01.51-90».

2. СП 264.1325800.2016 «Световая маскировка населенных пунктов и объектов народного хозяйства. Актуализированная редакция СНиП 2.01.53-84».

3. ГОСТ Р 55201-2012 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Порядок разработки перечня мероприятий по гражданской обороне, мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера при проектировании объектов капитального строительства».

4. ГОСТ 2.120-2013 «Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Технический проект».

5. ГОСТ 34.601-90 «Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания»

6. Приказ МЧС России от 14.11.2008 № 687 «Об утверждении Положения об организации и ведении гражданской обороны в муниципальных образованиях и организациях».

7. Методические рекомендации по определению номенклатуры и объемов создаваемых в целях гражданской обороны запасов материально-технических, продовольственных, медицинских и иных средств, накапливаемых федеральными органами исполнительной власти, органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации, органами местного самоуправления и организациями (утв. МЧС России 23 мая 2017 г. № 2-4-71-24-11).

Сведения об авторах

Курличенко Игорь Владимирович, ведущий научный сотрудник 1 научно-исследовательского центра ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 121352, Москва, ул. Давыдковская,7, E-mail:12otdel@ mail.ru; моб. тел.: 8-916-588-62-75.

Глебов Владимир Юрьевич, ведущий научный сотрудник 1 научно-исследовательского центра ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 121352, Москва, ул. Давыдковская,7, E-mail:12otdel@ mail.ru; моб. тел.:8-903-171-62-50

Руденко Алексей Викторович, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 121352, Москва, ул. Давыдковская,7, E-mail:12otdel@ mail.ru; моб. тел.: 8-906-777-33-21

УДК 614.84, 614.8.084

ОБ ОРГАНИЗАЦИИ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ НА ТЕРРИТОРИИ СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

Доктор техн. наук *В.А. Седнев*, *Н.В. Лопухова*

ФГБОУ ВО «Академия государственной противопожарной службы МЧС России»

Рассмотрена существующая организация и способы тушения лесных пожаров и пожаров на территории сельских населенных пунктов, рассмотрены мероприятия по недопущению развития лесного пожара и его воздействия на сельский населенный пункт, и обоснована необходимость совершенствования организации тушения рассмотренных пожаров.

Ключевые слова: сельский населенный пункт, пожары, организация и способы тушения.

ON THE ORGANIZATION OF FIREFIGHTING ON THE TERRITORY OF RURAL SETTLEMENTS

Doctor (Tech.) *V.A. Sednev*, *N.V. Lopuhova*

Federal state budgetary educational institution of higher education «Academy of the state fire-fighting service of EMERCOM of Russia»

The article considers the existing organization and methods of extinguishing forest fires in the territory of rural settlements, measures to prevent the development of forest fire and its impact on the rural population, and the need to improve the organization of extinguishing fires.

Keywords: rural locality, fires, organization and methods of extinguishing.

Планирование и организация тушения пожаров на территории сельских населенных пунктов, подверженных угрозе лесных пожаров, связаны непосредственно с планированием и организацией тушения крупномасштабных лесных пожаров.

Охрана лесов осуществляется с учетом их биоэкологических и региональных особенностей, и включает комплекс организационных, правовых, инженерных и других мер, направленных на сохранение лесного фонда от уничтожения, повреждения, ослабления и других вредных воздействий [1].

Анализ причин возникновения и развития лесных, торфяных и других массовых пожаров показал, что при определенных условиях они могут приобрести необычайно большую масштабность, продолжительность и перерасти в стихийное бедствие. Эти обстоятельства предъявляют серьезные требования к органам управления и силам, привлекаемым к их тушению. Основным содержанием работы органов управления является максимальное использование имеющихся возможностей для быстрой ликвидации пожаров.

Главное внимание в этот период уделяется оповещению всех заинтересованных звеньев управления, привлекаемых сил и населения о назревании лесных и торфяных пожаров, организации и ведению противопожарного наблюдения и пожарной разведки, определению порядка борьбы с массовыми пожарами, сбору и созданию необходимой группиров-

ки сил и средств, их развертыванию и действиям при тушении пожаров, а там, где необходимо, и ведению спасательных работ.

Успех тушения лесных пожаров (ЛП) во многом зависит от своевременности и полноты сбора данных наблюдения и разведки. Недостаточно организованная служба наблюдения, связи и оповещения приводит к несвоевременному принятию мер по ликвидации небольших очагов возгораний и превращению их в массовые пожары – подлинное стихийное бедствие.

Для организации и поддержания системы обнаружения и тушения ЛП на территории лесного фонда страны создана аэрокосмическая система, включающая в себя, наряду с наземными наблюдательными пунктами и воздушными патрулями, космические средства слежения за ЛП. Но диапазон определения очага спутниками колеблется от 1 до 50 га, а периодичность получения данных составляет только 6 раз в сутки, что снижает оперативность принятия мер по ликвидации возгораний [2].

Мероприятия по предупреждению, обнаружению и тушению пожаров в лесах лесхозов возложено на государственную лесную охрану.

Действия работников лесопожарной организации по тушению лесного пожара начинаются с момента получения сообщения о пожаре, и считаются законченными после возвращения сил и средств пожаротушения на места их постоянной дислокации (рис. 1) [3].

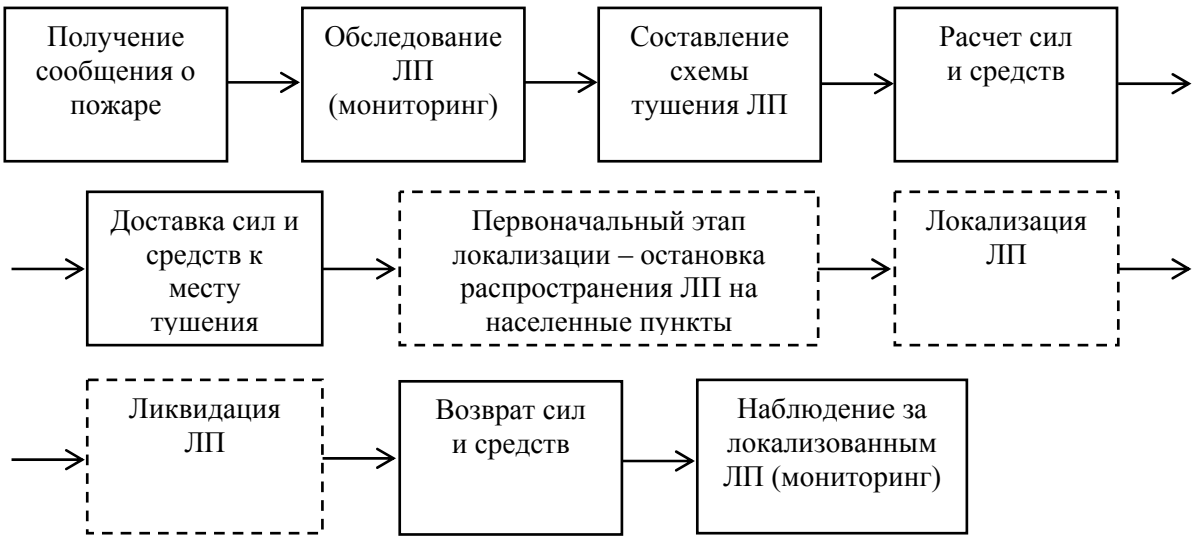

Рис. 1. Алгоритм организации тушения лесных пожаров лесопожарными организациями

Организация руководства работами по тушению лесных пожаров на территории лесничества или лесопарка осуществляется в соответствии с планом тушения лесного пожара и сводным планом тушения лесных пожаров на территории субъекта Российской Федерации [3].

Первоначальным этапом локализации ЛП является остановка его распространения, включающая в себя действия лесопожарных организаций, направленные на остановку распространения кромки ЛП, в первую очередь, на опасных и критических направлениях, на которых может возникнуть угроза ценным насаждениям, населенным пунктам и объектам экономики.

Органы исполнительной власти субъекта Российской Федерации разрабатывают сводный план тушения лесных пожаров на территории субъекта Российской Федерации для недопущения распространения ЛП на земли населенных пунктов и земли иных категорий, а также для недопущения возникновения лесных пожаров из-за пожаров, возникших на землях населенных пунктов и землях иных категорий.

В Российской Федерации насчитывается более 155 тыс. городов, поселков городского типа и сельских населенных пунктов, причем, например, в 13,5 тыс. сел и деревень постоянных жителей нет, а в 36,2 тыс. проживает до 10 человек, при этом, по словам Министра МЧС России «защита малонаселенных сельских поселений от бедствий и огня – важная государственная задача» [4, 5].

Организация защиты населенных пунктов от лесных пожаров и организация тушения пожаров на территории населенных пунктов представлена на рис. 2 [3, 6, 7].

Сводный план тушения лесных пожаров на территории субъекта Российской Федерации содержит вывод о готовности, ограниченной готовности или неготовности субъекта Российской Федерации к пожароопасному сезону. Утверждает сводный план руководитель субъекта Российской Федерации, а Федеральное агентство лесного хозяйства принимает решение о согласовании плана. Но только вывод о неготовности субъекта Российской Федерации к пожароопасному сезону может служить основанием для отказа в согласовании сводного плана.

Вывод об ограниченной готовности к пожароопасному сезону допускает невыполнение 2-х требований, предусмотренных сводным планом, что может включать в себя и меры по охране земель и земельных участков, имеющих общую границу с лесничествами и лесопарками, а также меры по противопожарному обустройству населенных пунктов, объектов экономики и инфраструктуры, расположенных на таких землях и земельных участках [8].

К полномочиям органов местного самоуправления относятся [9] создание условий для организации добровольной пожарной охраны и для участия граждан в обеспечении первичных мер пожарной безопасности, а также оснащение территорий общего пользования первичными средствами тушения пожаров и противопожарным инвентарем. Подразделения добровольной пожарной охраны создаются в населенных пунктах, до которых пожарным расчетам добираться более 20 минут, а также могут создаваться в помощь караулам профессиональной пожарной охраны [10, 11].

Мероприятиями по противопожарному обустройству населенных пунктов, объектов экономики и инфраструктуры, отражаемыми в сводном плане, являются следующие [8]:

создание противопожарных минерализованных полос;

проведение профилактических выжиганий;

создание противопожарных барьеров (разрывов);

очистка от сухой травянистой растительности, пожнивных остатков, валежника, порубочных остатков, мусора и других горючих материалов.

Локализованным считается лесной пожар, при котором созданы условия для его нераспространения путем ограничения его по всему периметру заградительными минеральными полосами и (или) потушенными участками кромки, и (или) естественными преградами [3]. При тушении лесных пожаров применяется ряд способов (табл. 1).

Основным способом тушения лесного пожара и пожара на территории населенного пункта является вода, так как требуемой ширины (1,4-9 м) прокладки заградительных и опорных минерализованных полос бывает недостаточно из-за возможного переноса горящих частиц пожара на 300-1000 м [13], а для тушения одного жилого дома требуется как минимум 2 автоцистерны (8 тонн воды), в то время как гореть может далеко не один жилой дом [14], причем подача воды от автоцистерны без установки на водоисточник является наиболее используемым способом водоснабжения (63,01 %) [15].

Рис. 2. Организация защиты населенных пунктов от лесных пожаров и тушения пожаров на территории населенных пунктов

Таблица 1

Способы тушения лесных пожаров [3, 12]

№ п/п	Способ тушения	Применение	Характеристика	Технические средства
1	Захлестывание огня (сбивание пламени) по кромке лесного пожара	низовой ЛП слабой и средней интенсивности	удары по горящей кромке наносятся резкими движениями под углом 45–30° к поверхности земли	веник из свежесломанных веток лиственных пород или другие подручные средства: мешковина, прорезиненная ткань и др.
2	Засыпка кромки лесного пожара грунтом	применение захлестывания огня малоэффективно, а быстрая прокладка заградительных полос невозможна; применяется на легких песчаных и супесчаных слабо задерненных почвах	сбивают грунтом пламя, а затем засыпают им кромку сплошной полосой шириной 40–60 см и толщиной 6–8 см	почвообрабатывающие орудия
3	Прокладка заградительных и опорных минерализованных полос	слабый средний ЛП (скорость продвижения огня меньше 1 м/мин)	ширина 1,4 м	почвообрабатывающие орудия и механизмы, огнетушащие вещества, взрывчатые материалы
		сильный ЛП (скорость продвижения огня более 3 м/мин)	ширина до 9 м	
4	Отжиг горючих материалов перед кромкой лесного пожара	верховые ЛП всех видов, а также низовые лесные пожары высокой и средней интенсивности	ширина от 0,3 м до 9 м в зависимости от интенсивности и вида ЛП; при тушении верховых ЛП до 600 метров	почвообрабатывающие орудия, взрывчатые материалы, растворы химических веществ
5	Тушение водой и огнетушащими растворами, в том числе с применением авиации	низовые сильные, подземные и верховые ЛП	вода используется из имеющихся вблизи водоисточников или привозная	вертолеты и самолеты. Порог работы – скорость ветра не более 20 м/с

Информация о создании или наличии источников наружного противопожарного водоснабжения (пожарные гидранты, искусственные пожарные водоемы, реки, озера, пруды, бассейны, градирни и др.), отражаемая в паспорте населенного пункта, подверженного угрозе лесных пожаров, и утверждаемого органом местного самоуправления, в сводном плане отсутствует. А ведь основными причинами задержек подачи огнетушащих средств в очаг пожара в 2016-2017 гг. являлись удаленность водоисточников от места пожара (более 500 м) (52,67 %), а также их отсутствие на месте пожара (15,33 %) [15].

Поэтому при тушении крупных, сложных и продолжительных пожаров в условиях недостатка воды подразделения пожарной охраны должны организовать строительство временных пожарных водоемов и пирсов [16], хотя это относится к полномочиям органов местного самоуправления и должно быть сделано заблаговременно.

Таким образом, способы тушения ЛП и пожаров на территории населенных пунктов зависят от превентивных мероприятий, организация которых зависит от руководителя субъекта Российской Федерации, органов местного самоуправления, Рослесхоза, МЧС России и др.

Основным документом, определяющим готовность к пожароопасному сезону, является сводный план тушения лесных пожаров на территории субъекта Российской Федерации, а паспорт населенного пункта, подверженного угрозе лесных пожаров, дает только оценку достаточности принятых органами местного самоуправления мер по подготовке территорий к пожароопасному периоду, которая не отражается в сводном плане.

Наиболее распространенным способом обнаружения ЛП является спутниковый мониторинг, но широкий диапазон определения очага пожара (от 1 до 50 га), невысокая периодичность получения данных (до 6 раз в сутки), передача данных мониторинга только в Федеральное агентство лесного хозяйства увеличивают время реагирования на ЛП лесопожарными формированиями и подразделениями МЧС России, что приводит к увеличению площади пожара.

Паспорт населенного пункта, подверженного угрозе лесных пожаров, разрабатывается для случая, если минимальное расстояние составляет 30 м от границ сельских поселений до лесных насаждений и 50 м для населенных пунктов [17, 18]. Таким образом, несмотря на мероприятия по недопущению развития лесного пожара и его воздействия на населенные пункты, времени на его реагирование нет, так как огонь преодолевает это расстояние почти мгновенно, что приводит к быстрому распространению ЛП на населенный пункт и требует совершенствования планирования и организации тушения крупномасштабных лесных пожаров и пожаров на территории сельских населенных пунктов.

Литература

1. Приказ Рослесхоза от 30 июня 1995 г. № 100 «Указания по обнаружению и тушению лесных пожаров».
2. Организация мониторинга. По материалам В. Болова, В. Владимирова, С. Диденко, А. Елисеева // Гражданская защита. №4. 2017. – С. 10-11.
3. Приказ Минприроды России от 08.07.2014 г. № 313 «Об утверждении Правил тушения лесных пожаров».
4. Помогут, защитят, спасут // Аргументы и факты. №7. 2016. – С. 13.
5. Система становится весомее, а ее задачи – масштабнее // Гражданская защита. №10. 2017. – С. 6-7.
6. Реагирование на чрезвычайные ситуации на территориальном уровне. – http://www.mchs.gov.ru/dop/terms/item/88682.
7. Седнев В.А. Организация защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций: учебник. – 4-е изд., перераб. и доп. / под общей ред. В.А. Седнева. – М.: Академия ГПС МЧС России. - 2018. – 188 с.
8. Постановление Правительства Российской Федерации от 18 мая 2011 г. № 378 «Об утверждении Правил разработки сводного плана тушения лесных пожаров на территории субъекта Российской Федерации».
9. Федеральный закон от 21.12.1994 г. № 69-ФЗ «О пожарной безопасности».
10. Федеральный закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
11. Тульникова А. О ДПО – по существу // Гражданская защита. №2. 2012. – С. 14-17.
12. Седнев В.А. и др. Обоснование инженерно-технических мероприятий, состава сил и средств для защиты населения и территорий от воздействия крупномасштабных природных пожаров: учебное пособие. – М.: Академия ГПС МЧС России. - 2010. – 73 с.
13. Зятьков Н. Как бились с огнем? // №17. 2015. – http://www.aif.ru.
14. Сварцевич В. Кто устроил пепелище? // Аргументы и факты. №17. 2015. – С. 9.
15. Информационно-аналитическое обеспечение деятельности пожарно-спасательных подразделений при тушении крупных пожаров и проведении связанных с ними аварийно-спасательных работ: отчет о НИР / Гладких А.Н., Петухов А.Н. и др. – М.: ФГБУ ВНИИПО МЧС России. - 2018 г. – 140 с.

16. Приказ МЧС России от 16 октября 2017 г. № 444 «Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ».
17. Постановление Правительства Российской Федерации от 25 апреля 2012 г. № 390 «О противопожарном режиме».
18. СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям.

Сведения об авторах

Седнев Владимир Анатольевич, профессор, профессор кафедры защиты населения и территорий, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Академия государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», 129366, г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4, тел. (495) 617-27-78, (926) 531-29-24, Sednev70@yandex.ru

Лопухова Нина Вячеславовна, старший научный сотрудник – начальник научно-исследовательской группы безопасности в чрезвычайных ситуациях Академии Государственной противопожарной службы МЧС России, соискатель. г. Москва, ул. Бориса Галушкина, д.4, каб. 101, 129366, тел.:8(495)617-26-59, моб. тел.: 8(916)171-61-27, e-mail: teterina.agps@yandex.ru.

УДК-614.8

О ПРИМЕНЕНИИ ЧЕК-ЛИСТОВ ПРИ ПРОВЕРКАХ В ОБЛАСТИ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ И ТЕРРИТОРИЙ ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Е.К. Назаренко

ФГБУ ВНИ ГОЧС (ФЦ)

Рассмотрены особенности применения чек-листов - списков контрольных вопросов, содержащих ряд необходимых требований в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций и гражданской обороны. Выявлены преимущества внедрения данного метода контроля в обозначенной предметной области.

Ключевые слова: чек-лист, проверки, метод, эффективность, защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, гражданская оборона, риск-ориентированный подход.

ON THE USE OF CHECKLISTS FOR INSPECTIONS IN THE FIELD OF PROTECTION OF THE POPULATION AND TERRITORIES FROM EMERGENCY SITUATIONS

E.K. Nazarenko

All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies

Specific features of the use of checklists-lists of control questions containing a number of necessary requirements in the field of protecting the population and territories from emergencies and civil defense are considered. The advantages of introducing this method of control in the indicated subject area are revealed.

Keywords: check-list, checks, method, efficiency, protection of the population and territories from emergencies, civil defense, risk-oriented approach.

В системе МЧС России продолжается работа по внедрению новых форм и методов в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций и гражданской обороны в соответствии с приоритетными направлениями государственной политики Российской Федерации на период до 2030 года в указанных областях [1 - 2].

Характерными чертами указанной работы являются: обеспечение приоритетности профилактических мероприятий; риск-ориентированный подход и надзорные каникулы для субъектов малого предпринимательства; введение проверочного листа; совершенствование системы процессуальных действий; периодичность плановых проверок для органов местного самоуправления; внедрение процедуры согласования отдельных видов внеплановых проверок с органами прокуратуры и др.

Вместе с тем, в настоящее время в системе МЧС пересматриваются подходы к деятельности надзорных органов. Это относится к обеспечению контроля за эксплуатацией объектов, связанных с массовым пребыванием людей, пожарной безопасности в общественных местах[1]. Так, издан приказ МЧС России от 07.06.2018 № 245, отменяющий действовавший до настоящего времени приказ МЧС России от 12.09.2016 № 492 «О запрещении проверок малого и среднего предпринимательства», запрещающий проверки малого и среднего бизнеса и включение в ежегодные планы проведения плановых проверок субъекты малого и среднего предпринимательства».

Одним из методов, повышающих эффективность мероприятий в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций и гражданской обороны является использование проверочных листов - чек-листов (checklist- контрольный список) (списков контрольных вопросов) при проведении плановых проверок в рамках внедрения риск - ориентированного подхода при организации и осуществлении государственного надзора в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, а также гражданской обороны.

Следует отметить, что планирование - это важная составляющая любой деятельности. Чек-лист - это тоже план, список, содержащий ряд необходимых требований при проверках для какой-либо деятельности. Отмечая пункты списка, проверяющий может оценить состояние выполнения работы. Внедрение данного подхода позволяет выявить все факторы риска до их реализации, снижая вероятность этих рисков в целях максимально эффективного функционирования предприятий и организаций.

[1]Сайт mchs.gov.ru Протокол селекторного совещания 4 июня 2018 г.

Таблица

Перечень вопросов, отражающих содержание обязательных требований, ответы на которые однозначно свидетельствуют о соблюдении или несоблюдении юридическим лицом, индивидуальным предпринимателем (далее - организация) обязательных требований, составляющих предмет проверки:

№	Вопросы, отражающие содержание обязательных требований	Реквизиты нормативных правовых актов, с указанием их структурных единиц, которыми установлены обязательные требования	Ответы на вопросы
1	2	3	4
1.	Имеется ли у организации утвержденный план действий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций для:	подпункт «а» статьи 14 Федерального закона от 21.12.1994 № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера (далее - Федеральный закон № 68-ФЗ); пункт 23 Положения о единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 30.12.2003 № 794 (далее - Положение о единой государственной системе); пункты 45, 46 Требований по предупреждению чрезвычайных ситуаций на потенциально опасных объектах и объектах жизнеобеспечения, утвержденных приказом Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий от 28.02.2003 № 105 (далее - Требования по предупреждению чрезвычайных ситуаций на потенциально опасных объектах и объектах жизнеобеспечения)	
1.1.	организации?		
1.2.	подведомственных организации объектов производственного и социального назначения?		

Применение этой новации закреплено постановлениями Правительства Российской Федерации по вопросам применения риск-ориентированного подхода в обозначенной области [3 - 4].

Говоря об исследованиях в обозначенной области, следует отметить, что вопросам совершенствования надзорной деятельности посвящено большое количество книг и публикаций [5 - 6]. Проблемам развития нормативной правовой базы надзорно-контрольной деятельности в области гражданской защиты и систематизации контрольно-надзорных

требований в области гражданской обороны был посвящен ряд работ [7 - 8]. Тем не менее, в этих работах не отражены новые подходы по исследуемой тематике.

Обязанность применения проверочных листов при осуществлении федерального государственного надзора в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций в отношении юридических лиц и индивидуальных предпринимателей закреплена в «Положении о государственном надзоре в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» [9]. Так, чек-листы содержат перечни вопросов - требований, в целях недопущения возникновения угрозы причинения вреда жизни, здоровью граждан, вреда животным, растениям, окружающей среде, объектам культурного наследия (памятникам истории и культуры), безопасности государства, а также угрозы чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера [9].

В 2018 году утверждена форма таких листов при осуществлении федерального государственного надзора в области гражданской обороны и защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций [10 - 11]. В Таблице приведена утвержденная форма проверочного листа (по 1 вопросу), содержащего требования по защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций [11].

В указанном листе отражаются сведения о: лице, в отношении которого проводится проверка; месте проведения проверки; реквизитах распоряжения или приказа о проведении проверки; учетном номере проверки в едином реестре проверок и дате его присвоения; лице, проводящем проверку.

Утвержден Перечень, содержащий 40 пунктов вопросов, отражающих обязательные требования, ответы на которые свидетельствуют о соблюдении или несоблюдении юридическим лицом, индивидуальным предпринимателем обязательных требований, составляющих предмет проверки [10].

Например, к указанным вопросам, относятся следующие:

1. Имеется ли у организации утвержденный план действий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций?
2. Разработан(-ы) ли паспорт(-а) безопасности в организации, эксплуатирующей: объекты, использующие, производящие, перерабатывающие, хранящие или транспортирующие радиоактивные, пожаровзрывоопасные, химические, биологические вещества; гидротехнические сооружения?
3. Имеется ли у организации план по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов (для организаций, осуществляющих разведку месторождений, добычу нефти, а также переработку, транспортировку, хранение нефти и нефтепродуктов): утвержденный? откорректированный? введенный в действие?
4. Создано ли организацией собственное аттестованное формирование (подразделение) для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов?
5. Заключен ли организацией договор с профессиональным аварийно-спасательным формированием (службой), выполняющим работы по ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов?
6. Создан ли организацией координационный орган единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (далее - РСЧС) - комиссия по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечению пожарной безопасности (далее - КЧС организации)?
7. Имеется ли у организации утвержденное положение (решение) об образовании координационного органа РСЧС - КЧС организации, определяющее: компетенцию КЧС организации? порядок принятия решений КЧС организации?
8. Утверждены ли в организации: руководитель КЧС организации? персональный состав КЧС организации?
9. Возглавляется ли координационный орган РСЧС - КЧС организации руководителем организации (его заместителем)?

10. Прошли ли подготовку в области защиты от чрезвычайных ситуаций: председатель координационного органа РСЧС - КЧС организации? члены координационного органа РСЧС - КЧС организации?

11. Создан ли организацией постоянно действующий орган управления РСЧС структурное подразделение, специально уполномоченное на решение задач в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций (далее - уполномоченное структурное подразделение)?

12. Имеется ли у организации утвержденное положение (устав) о постоянно действующем органе управления РСЧС - уполномоченном структурном подразделении, определяющие: компетенцию уполномоченного структурного подразделения? полномочия уполномоченного структурного подразделения?

Отметим ряд преимуществ использования чек-листов:

содержат обязательные требования, ответы на которые свидетельствуют о соблюдении или несоблюдении юридическим лицом, индивидуальным предпринимателем обязательных требований, составляющих предмет проверки;

структурируют информацию, необходимые действия, последовательность задач;

повышают скорость проверок;

экономят рабочее время;

проверки становятся более прозрачными, поскольку предмет проверки будет четко обозначен до ее начала и известен проверяемому лицу;

повышают эффективность проверок;

позволяют выявить все факторы риска до их реализации, снижая вероятность этих рисков в целях максимально эффективного функционирования.

ВЫВОД

Одним из методов, повышающих эффективность реформы контрольно-надзорной деятельности, является внедрение чек-листов (списков контрольных вопросов). Анализ нормативных правовых актов, касающихся внедрения данных листов при проверках в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций и гражданской обороны позволил выявить нормативные требования к предмету исследований, а также ряд преимуществ их использования. А именно, чек-листы:

содержат обязательные требования в виде вопросов, ответы на которые свидетельствуют о соблюдении или несоблюдении юридическим лицом, индивидуальным предпринимателем обязательных требований, составляющих предмет проверки;

структурируют информацию, необходимые действия, последовательность задач;

повышают скорость проверок;

экономят рабочее время;

проверки становятся более прозрачными, поскольку предмет проверки будет четко обозначен до ее начала и известен проверяемому лицу;

повышают эффективность проверок;

позволяют выявить все факторы риска до их реализации, снижая вероятность этих рисков в целях максимально эффективного функционирования.

Литература

1. Указ Президента РФ от 20 декабря 2016 г. № 696 «Об утверждении Основ государственной политики Российской Федерации в области гражданской обороны на период до 2030 года»

2. Указ Президента РФ от 11 января 2018 г. № 12 «Об утверждении Основ государственной политики Российской Федерации в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций на период до 2030 года»

3. Постановление Правительства Российской Федерации от 17 августа 2016 г. № 806 «О применении риск-ориентированного подхода при организации отдельных видов государственного контроля (надзора) и внесении изменений в некоторые акты»

4. Постановление Правительства Российской Федерации от 22 июля 2017 г. № 864 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам применения риск-ориентированного подхода при осуществлении отдельных видов государственного надзора и лицензионного контроля»

5. Севрюкова Е.А. Надзор и контроль в сфере безопасности. Учебник; Юрайт – Москва. - 2014. - 398 с.

6. Костров А.В. Проблемы развития нормативной правовой базы надзорно-контрольной деятельности в области гражданской защиты // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. - 2010. № 1. С. 13-24.

7. Поляков А.А., Назаренко Е.К. К вопросу осуществления государственного надзора в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций //Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. - 2011. № 5. С. 15-23.

8. Костров А.В., Степаненко Д.В. К решению проблемы систематизации контрольно-надзорных требований в области гражданской обороны // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. - 2014. № 6. С. 11-23.

9. Постановление Правительства Российской Федерации от 24.12.2015 № 1418 «О государственном надзоре в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».

10. Приказ МЧС России от 27.02.2018 № 78 «Об утверждении формы проверочного листа (списка контрольных вопросов), используемого при осуществлении государственного надзора в области гражданской обороны при проведении плановых проверок по контролю за соблюдением установленных требований в области гражданской обороны»

11. Приказ МЧС России от 27.02.2018 № 77 «Об утверждении формы проверочного листа (списка контрольных вопросов), используемого при осуществлении федерального государственного надзора в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера при проведении плановых проверок по контролю за соблюдением обязательных требований в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».

12. Приказ МЧС России от 07.06.2018 № 245 «Об отмене приказов МЧС России от 12.09.2016 № 492 и от 26.04.2018 № 201»

Сведения об авторе

Назаренко Елена Константиновна – с.н.с. 1 НИЦ ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ); г. Москва, ул. Давыдковская, д. 7, тел. (499) 233-25-47, доб.143; E-mail: 14_otdel@mail.ru. SPIN-scientific - 6428-3125.

УДК 358.238

О ПЛАНИРОВАНИИ И ПОДГОТОВКЕ СИЛ И СРЕДСТВ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ И ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ПОДСИСТЕМ К СЕЗОННОМУ ПОВЫШЕНИЮ УРОВНЯ ВОДЫ НА РЕКАХ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ И УСТОЙЧИВОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОРГАНОВ ГОСУДАРСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ

Кандидат философ. наук *О.В. Хомяков*

ФКОУ ВО «Вологодский институт права и экономики Федеральной службы исполнения наказаний».

М.А. Бортник

Главное управление МЧС России по Вологодской области

В работе освящаются планирование и подготовка сил и средств функциональных и территориальных подсистем к сезонному повышению уровня воды на реках Вологодской области для обеспечения жизнедеятельности населения и устойчивого функционирования органов государственного управления в условиях весеннего половодья. Рассматривается существующий опыт деятельности в данном направлении и анализируются результаты деятельности по предотвращению последствий половодья в прошлые годы на реках Сухона и Малая Северная Двина.

Ключевые слова: наводнение, ледорезные работы, ледокольные работы, взрывные работы, чернение льда, зона подтопления, гидрометеорологические условия, чрезвычайная ситуация, эвакуационные мероприятия.

ABOUT PLANNING AND PREPARATION OF FORCES AND MEANS OF FUNCTIONAL AND TERRITORIAL SUBSYSTEMS SEASONAL INCREASE OF WATER LEVEL ON THE RIVERS OF THE VOLOGDA REGION FOR ENSURING ACTIVITY OF THE POPULATION AND SUSTAINABLE FUNCTIONING OF PUBLIC ADMINISTRATION SYSTEM IN THE CONDITIONS OF THE SPRING FLOOD

Ph.D. (Philosophy) *O.V. Khomyakov*

Vologda institute of law and economics of FPS of Russia

M.A. Bortnik

EMERCOM of Russia in the Vologda region

The article is devoted to the planning and preparation of forces and means of functional and territorial subsystems for seasonal increase of water level on the rivers of the Vologda region to ensure the life of the population and the sustainable functioning of public administration in the spring flood. The article discusses the existing experience in this area and analyzes the results of activities to prevent the consequences of flooding in the past years on the rivers Sukhona and Small Northern Dvina.

Keywords: flood, ice-cutting works, ice-breaking, blasting, blackening ice, flooding, meteorological conditions, emergency, evacuation.

В настоящее время продолжает быть актуальной проблема своевременной и качественной подготовки органов государственного управления и населения к сезонному повышению уровня воды на реках.

Ежегодно во многих регионах России в весенний период возникают угрозы обеспечению жизнедеятельности населения и функционированию государственных органов и учреждений, объектов экономики. В тех регионах, где подготовка к весеннему половодью осуществляется некачественно, несвоевременно, либо без учета всесторонней оценки вероятности наступления последствий в соответствии с наиболее неблагоприятными прогнозами ежегодно фиксируется значительный материальный ущерб и жертвы среди населения. Ухудшение социально-экономических показателей, как правило, напрямую влияет и на общественно-политическую ситуацию в регионе.

Планирование и подготовка сил и средств к сезонному повышению уровню воды на реках Вологодской области осуществляется заблаговременно с учетом конкретных метеоданных. Формируется соответствующая этим метеоданным группировка сил и средств функциональных и территориальных подсистем. В последние годы на территории Вологодской области эффективно обеспечиваются гарантии жизнедеятельности населения и устойчивость функционирования органов государственного управления в условиях весеннего половодья. Регулярно подвергаются глубокому анализу условия формирования угроз населению в паводковый период [1, 8, 13]. Анализируется и обобщается опыт исследователей, изучавших паводковую ситуацию в бассейне реки Северная Двина [2, 3, 4, 9, 14, 15, 16].

Сосредоточение основных усилий по предотвращению возможных последствий весеннего половодья осуществляется преимущественно на реках Сухона и Малая Северная Двина в Великоустюгском районе. Так П.Н. Терский и Н.Л. Фролова замечают, что «больше всех подвержена воздействию весенних половодий территория Великоустюгского района и особенно г. Великий Устюг, который на протяжении многих веков пережил ряд катастрофических наводнений, изменявших русло реки и окружающий ландшафт» [16, с. 90]. Исследователи отмечают, что «в XX в. город испытал воздействие 21 крупного наводнения» [16, с. 90]. При весеннем резком повышении температуры атмосферного воздуха и обильном таянии снега и льда, как правило, возникает ситуация связанная с превышением объемов возникающей талой воды в русле рек с возможностями прохождения увеличенных потоков воды и льда по руслам рек, не полностью освободивших свои русла ото льда. Происходит затопление прилегающей к руслу рек территории г. Великий Устюг. Неконтролируемое движение воды и льда в строения и помещения, по дорожной сети и на объектах коммунальной инфраструктуры в 1998 г. характеризовалось «большим экономическим и экологическим ущербом»[16, с. 90]. При наводнении возникает и угроза для нахождения, проживания и перемещения людей и техники на указанных территориях, в том числе и во ФКУ ИК-3 УФСИН России по Вологодской области. В условиях неподготовленности и ненадлежащего обеспечения прав и законных интересов осужденных при чрезвычайных ситуациях очевидны угрозы штатному функционированию исправительных учреждений вплоть до вероятности возникновения массовых беспорядков. Специфику подготовки к экстремальным условиям исполнения служебных обязанностей сотрудниками уголовно-исполнительной системы в своих работах рассматривают исследователи А.Н. Дудус, М.А. Калинин, С.Б. Лопатин, О.В. Хомяков [5, 7, 17].

Для увеличения возможности прохождения льда и воды по наиболее сложным участкам в противопаводковом отношении участков русел рек Сухона и Малая Северная Двина осуществляются превентивные мероприятия по разрушению льда ледорезными и взрывными работами. Ледорезные работы проводятся в связи с ограниченными возможностями использования ледоколов из-за малой глубины рек Сухона и Малая Северная

Двина. В Великоустюгском районе лишь только в 2010 году проводились ледокольные работы. Целесообразность разрушения льда механическим методом с использованием ледорезных машин подробно описывается в «Методических рекомендациях по предотвращению образования ледовых заторов на реках Российской Федерации и борьбе с ними» [8, с. 73-78]. Взрывные работы также имеют свои особенные и необходимые характеристики. Они являются максимально эффективными при минимальных затратах времени на разрушение значительного скопление льда, что категорически востребовано при неблагоприятном развитии обстановки когда другие способы разрушения льда не дали ожидаемых положительных результатов [8, с. 90-106]. Однако, например, применение бомбардировочной авиации для разрушения льда посредством бомбометания, как правило, признается нецелесообразным. А.И. Запорожец, Г.Н. Медведев, Н.С. Карпачев и А.М. Шахраманьян обращают внимание на то, что «стоимость вылета каждого самолета весьма высокая» и что, малая эффективность авиационного бомбометания обусловлена «следующими причинами: трудность прицельного попадания в замок затора, подрыв на большой глубине, малая серия (5 – 6 бомб) в одном вылете» [6, с. 81]. Очевидно, что, обеспечить более высокую эффективность и безопасность работ по дроблению льда и уничтожению ледовых заторов возможно при использовании вертолетной техники и при условии планирования наличия достаточных резервных запасов взрывчатых веществ (далее - ВВ) на случай экстренной потребности в действиях по устранению ледовых заторов в руслах рек.

Данные по превентивным противопаводковым мероприятиям на реках Сухона и Малая Северная Двина представлены в табл.1.

Таблица 1

Превентивные мероприятия по предупреждению и ликвидации заторов на реках Сухона и Малая Северная Двина за период 1999 - 2017 г.г.

Год	Превентивные мероприятия		
	Ледорезные работы	Взрывные работы	Ледокольные работы
1999	16,1 км	1,5 км	
2000	20 км	1,5 км	
2001	27 км	3,6 км	
2002	24,5 км	13,5 км	
2003	30,06 км	11,7 км	
2004	52 км	15 км	
2005	52,45 км	14 км	
2006	70,7 км	21,1 км	
2007	43,05 км	40 км	
2008	55,8 км	19,4 км	
2009	99.4 км	24,9 км	
2010	110 км	33 км	5 км
2011	90 км	30 км	
2012	90 км	447 подрывов, 6000 кг ВВ	
2013	70 км	221 подрыв 8052 кг ВВ	
2014	110,95 км	428 подрывов, 2952 кг ВВ	
2015	141,5 км	304 подрыва 5000 кг ВВ	
2016	127,5 км	270 подрывов 7003 кг ВВ	
2017	192,1 км	756 подрыва 10400 кг ВВ	

Для качественного прогноза на развитие неблагоприятных факторов и высокой вероятности возникновения наводнений исследователь П.Н. Терский предлагает сосредоточить внимание на выборе «гидрологических показателей, характеризующих потенциальное затопление при прохождении наводнений» и на определении «комплекса социально-экономических показателей, отражающих, с одной стороны, оценку потенциальных ущербов в случае затопления в период прохождения наводнений» [14, с. 9].

Планирование и подготовка сил средств государственных органов к сезонному повышению уровню воды на реках Вологодской области проводится заблаговременно, начиная с весенне-летнего периода.

В период с 20 по 23 сентября 2017 года проводились работы по исследованию русел рек Сухона и Малая Северная Двина. В ходе предледоставной разведки было проведено GPS-трекирование фарватера судового хода от г. Великий Устюг до п.г.т. Приводино (Архангельская область), были определены и зафиксированы координаты песчаных островов и отмелей на затороопасных участках реки, с помощью беспилотного летательного аппарата была проведена аэро-фото и видеосъемка русла реки. Повторная предледоставная разведка была проведена 19 и 20 ноября 2017 года.

Осенне-зимний период 2017-2018 года на территории Вологодской области характеризовался умеренно-теплой погодой с неравномерным распределением выпавших осадков.

Так толщина льда на реках Вологодской области в январе была на 20-30% ниже нормы. По предварительной оценке, вскрытие рек ожидалось в сроки, близкие к среднемноголетним (во второй декаде апреля).

По данным снегосъемки, осуществленного сотрудниками Вологодского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды - филиала Федерального государственного бюджетного учреждения «Северное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (далее – Вологодский ЦГМС) на 20 января 2018 года высота снежного покрова на полевых маршрутах в бассейнах рек Сухона, Кубена, Юг в январе составляла 70-85 % от нормы, на лесных маршрутах - 60-75 % от нормы. Запасы воды в снеге на полевых маршрутах в бассейнах рек Сухона, Юг составляли 75-85 % от нормы, на лесных маршрутах - 60-85 % от нормы [10].

Но, как правило, предварительные расчеты показателей высоты снежного покрова и запасам воды в снеге на середину января не позволяют объективно оценить соответствующие показатели на момент времени вскрытия рек и пиковую паводковую опасность в связи с неравномерностью выпадения осадков и изменяющимся температурным режимом по месяцам со среднесуточной отрицательной температурой атмосферного воздуха.

Для мониторинга паводковой обстановки на территории Вологодской области были задействованы гидрологическая сеть Вологодского ЦГМС - 4 гидрологические станции и 68 водомерных постов (далее – в/п).

В период прохождения весенних паводковых вод дополнительно были открыты 13 временных водомерных постов.

Прогнозировался вариант неблагоприятного сочетании гидрометеорологических условий в период развития ледохода (резкие изменения температуры воздуха, продолжительное стояние затора, интенсивные осадки) по в/п Великий Устюг когда уровень воды мог бы достигнуть отметки опасного неблагоприятного гидрологического явления 980 см, что для города явилось отметкой значительных затоплений.

При интенсивном снеготаянии и выпадении значительных осадков на пике или спаде половодья возможны подтопления низко расположенных участков в населенных пунктах на территории Вологодской области, что приведет к проблемам у служб жилищно-коммунального хозяйства из-за подтоплений подвалов. канализационных колодцев и др. объектов, у дорожных служб - размыв и разрушение дорог местного значения и

деревянных мостов, у энергетиков - в зоне подтоплений могут оказаться подстанции и линии электропередач.

В период прохождения ледохода и формирования весеннего половодья уточнялся долгосрочный прогноз и формировались краткосрочные прогнозы развития паводковой обстановки, с заблаговременностью от 3 до 15 дней.

Проведенная оценка риска весеннего паводка 2018 года с учетом многолетних наблюдений показала, что зоны подтопления в результате высоких уровней воды и заторных явлений могли бы возникнуть на территории 12 муниципальных районов области. Всего было прогнозируемо 18 зон подтопления. В зоны возможных подтоплений попали: 72 населенных пункта, 4214 жилых дома с населением 19903 человека.

Потенциально опасных объектов, попадающих в зоны подтопления на территории Вологодской области нет.

Скотомогильников, попадавших в зоны подтопления на территории Вологодской области нет.

Наиболее паводкоопасным на территории области является Великоустюгский муниципальный район, где вскрытие рек может сопровождаться образованием заторов льда с резким подъемом воды в районе г.г. Великий Устюг и Красавино. В зону подтопления в Великоустюгском районе предположительно попадали 50 населенных пунктов, 3128 жилых домов, 14775 человек. В предпаводковый период Вологодским ЦГМС проводилось обследование р. Сухоны и Малой Северной Двины в Великоустюгском районе с целью оценки складывающейся обстановки на водоемах области и подготовки долгосрочного прогноза сроков вскрытия рек и максимальных уровней воды весеннего половодья.

Спланировано было проведение превентивных мероприятий в 2017 – 2018 гг.:

- ледорезные работы на реках Сухона и Малая Северная Двина общей протяженностью 141,5 км;
- взрывные работы по ослаблению ледового покрова на 8 затороопасных участках рек Сухона и Малая Северная Двина, ликвидация возможных ледовых заторов в ходе прохождения весенних паводковых вод (10т ВВ);
- чернение льда протяженностью 10 км в местах проведения ледорезных работ, а также в черте города.

Ледорезные работы осуществлялись 4-ю ледорезными машинами и 2 баровыми установками БГМ-1.

После проведения маршрутного обследования рек Сухоны и Малой Северной Двины, оценки гидрологической обстановки и снегозапасов, были проведены заседания Комиссии по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечению пожарной безопасности (далее - КЧС и ПБ) Правительства области, уточнены объемы и места проведения превентивных мероприятий, проведены совместные выездные заседания КЧС и ПБ Правительства области и КЧС и ПБ муниципальных районов в период весеннего половодья. Были уточнены планы эвакуации и первоочередного жизнеобеспечения пострадавшего населения с учетом максимальных параметров подтоплений.

Главным управлением МЧС России по Вологодской области совместно с Бюджетным учреждением защиты в чрезвычайных ситуациях Вологодской области «Аварийно-спасательная служба (далее – АСС) Вологодской области», органами гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций муниципальных образований проводились:

а) уточнения планов действий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций (далее - ЧС);

б) уточнения границ и размеров (площади) возможных зон подтопления, количество сельскохозяйственных угодий, дорог, мостов, линий связи и электропередач, попадающих в зоны подтоплений, определение мероприятий по контролю их состояния;

г) согласования вопросов использования ВВ и работы команд взрывников для подрыва льда в районах возможного возникновения ледовых заторов;

д) уточнения порядка применения авиации (вертолетов) для проведения ледовой разведки и доставки взрывников в труднодоступные районы области.

Было организовано прогнозирование рисков возникновения чрезвычайных ситуаций природного характера:

- в период паводковой опасности ежедневно, с 1999 года ведутся графики подъема уровня воды в реках Вологда, Сухона, Юг, Суда, Кубена и др.;

- в целях определения основных параметров прогноза паводковой обстановки в период весеннего снеготаяния ежедекадно обрабатывались и анализировались данные снегомерной съемки на территории Вологодской области, отслеживалось состояние ледовой обстановки на реках области.

Был определен порядок ликвидации возможных ЧС, использование возможности сил и средств Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (далее – РСЧС), наращивания усилий в ходе ликвидации возможной ЧС, на территории Вологодской области в период половодья 2018 года.

Спланированы были эвакуационные мероприятия для населения из зон возможного затопления (подтопления) в период весеннего паводка, при ухудшении обстановки, в количестве 19903 человека из 4214 домов. В 12 паводкоопасных районах области было спланировано развертывание 66 пунктов временного размещения для эвакуируемого населения и их первоочередного жизнеобеспечения. Главам районов решением КЧС и ПБ была поставлена задача по приведению в готовность пунктов временного размещения (далее - ПВР). Всего на территории области были в готовности к развертыванию 220 ПВР, способных принять 91 600 человек.

Планирование и подготовка сил средств к весеннему паводку осуществлялись в целях:

1. Поддержания в установленной готовности поисково-спасательных сил к действиям в чрезвычайных ситуациях на водных бассейнах.

2. Прикрытия группировками поисково-спасательных сил основных районов на водных бассейнах.

3. Быстрого реагирования поисково-спасательных сил при возникновении чрезвычайных ситуаций.

4. Обеспечения заблаговременной готовности органов управления поисково-спасательных сил по спасанию людей на водных бассейнах.

5. Непрерывного высокоэффективного ведения поисково-спасательных операций.

6. Рационального использования специалистов, техники и материальных ресурсов в условиях весеннего паводка.

Управление силами и средствами, предназначенными для проведения аварийно-спасательных и аварийно-восстановительных работ при угрозе или возникновении чрезвычайных ситуаций, организовывалось в общей системе управления мероприятиями по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера на территории Вологодской области.

Информация о возникновении чрезвычайных ситуаций и угрозе, населенным пунктам поступает в ФКУ «Центр управления в кризисных ситуациях Главного управления МЧС России по Вологодской области» (далее – ЦУКС ГУ МЧС России по Вологодской области).

Оперативно-дежурная смена ЦУКС ГУ МЧС России по Вологодской области доводит информацию об угрозе или возникновении чрезвычайных ситуаций до муниципальных районов области по линии единых дежурно-диспетчерских служб, сил и средств территориальной подсистемы РСЧС Вологодской области, спланированных для ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Управление силами и средствами осуществлялось:

с пункта постоянной дислокации - ЦУКС ГУ МЧС России по Вологодской области с использованием всех действующих средств и каналов связи;

в районе ЧС с подвижного пункта управления местного гарнизона пожарной охраны, с использованием КВ и УКВ радиосвязи, мобильной спутниковой и сотовой связи, мобильного комплекса видеоконференцсвязи.

В район чрезвычайной ситуации своевременно направлялись оперативные группы местного гарнизона пожарной охраны, оперативная группа ЦУКС ГУ МЧС России по Вологодской области, Главного управления МЧС России по Вологодской области, дежурная спасательная группа АСС области.

Анализ фактического прохождения весеннего половодья по бассейнам рек на территориях Вологодской области показал, что вскрытие рек произошло во второй декаде апреля, что в целом соответствует прогнозируемым срокам.

Всего в зону подтопления попало 3 муниципальных района, 10 населенных пунктов, 15 домов (в 1 доме проживает 2 человека в п Чагода, 14 дачных домов), 226 приусадебных участков на 28 улицах, с населением 328 человек, в т.ч. 47 детей. В ПВР было эвакуировано - 6 человек, в т.ч. 1 ребенок.

Таблица 2

Соотношение ожидаемых и фактических параметров гидрометеорологической обстановки на территории Вологодской области

№ п/п	Гидрометеорологические параметры	Ожидаемые	Фактические
1	Уровень воды в период установления ледостава	выше нормы на 70-140 см	выше нормы на 15-140 см
2	Температура воздуха	в пределах нормы	в пределах нормы
3	Количество осадков	в пределах нормы	120% от нормы
4	Толщина льда	30-60 см	35-65 см
5	Снегозапасы в водосборных бассейнах рек округа	выше нормы на 15-40 %	выше нормы на 15-40 %
6	Вскрытие рек (дата)	1-2 декада апреля	2-3 декада апреля
7	Глубина промерзания почвы	ниже нормы на 40-70 см	ниже нормы на 40-70 см

Таблица 3

Сведения по населенным пунктам, подвергшихся затоплению в период весеннего половодья

1.	Время начала-окончания затопления	18.04.2018
2.	Водный объект	Реки западных районов области
3.	Площадь затопления (км^2)	7
4.	Муниципальные районы, попавшие в зону затопления (ед.)	3
5.	Населенные пункты, попавшие в зону затопления (ед.)	10
6.	Нарушены условия жизнедеятельности населения (чел. в т.ч. детей)	328 (47)
7.	Затоплено жилых домов (ед.)	15

К работам привлекались 179 человек и 66 единиц техники из них:

от МЧС: 67 человек, 22 единицы техники, в том числе 6 человек оперативный штаб.

от РСЧС: 112 человек, 44 единиц техники.

Прогноз прохождения и развития половодья на водных объектах области, разработанный Филиалом ФГБУ Северным УГМС «Вологодский ЦГМС», полностью оправдался. Ледоход прошел на уровнях и в сроки в соответствии с прогнозом в пределах допустимой погрешности.

Для отслеживания обстановки на водоемах области были задействована гидрологическая сеть: 4 гидрологические станции и 68 стационарных гидрологических постов, дополнительно открыто 13 временных в/п.

Вологодским ЦГМС осуществлялся мониторинг и информирование КЧС и ПБ Правительства области об уровнях снегогозапасов, запасов воды в снеге, толщины льда и уровней воды на реках Вологодской области. Для проведения мониторинга и ледовой разведки русел рек и ледовых полей были задействованы беспилотные воздушные суда различных типов.

Также для работы по мониторингу и прогнозированию паводковой обстановки задействованы средства космического мониторинга Вологодского филиал ФКУ «Национальный центр управления в кризисных ситуациях» по приему и обработке космической информации (спутники Terra, Aqua, Lancet 7, Lancet 8).

В рамках координации общих действий, 27 марта 2018 года было проведено совместное заседание КЧС и ПБ правительств Вологодской и Архангельской областей «Организация взаимодействия территориальных подсистем РСЧС Вологодской и Архангельской областей при проведении превентивных мероприятий по смягчению рисков возникновения чрезвычайных ситуаций в период весеннего половодья 2018 года», 21 апреля 2018 года было проведено совместное заседание КЧС и ПБ правительств Вологодской и Архангельской областей «Организация взаимодействия территориальных подсистем РСЧС Вологодской и Архангельской областей при прохождении ледохода в период весеннего половодья 2018 года». Губернатором Вологодской области О.А. Кувшинниковым утвержден «План мероприятий по подготовке к весеннему половодью 2018 года на территории Вологодской области» [11]. Мероприятия Плана разработаны с учетом прогноза складывающейся обстановки и условий формирования ледостава. Все мероприятия плана выполнены в полном объеме.

Таблица 4

Деятельность органов исполнительной власти по подготовке к весеннему половодью на территории Вологодской области

Субъект Российской Федерации	Кол-во проведенных заседаний комиссий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечению пожарной безопасности	Финансовые и материальные средства, выделенные на подготовку к весеннему половодью (млн. руб.) федеральный бюджет / бюджет субъектов РФ	Созданный резерв финансовых и материальных средств на период прохождения весеннего паводка (млн. руб.)федеральный бюджет / бюджет субъектов РФ
Вологодская область	Всего – 16, из них: 3 - Правительства области, 12 - Муниципальных образований	43,8 / 1,98	135,6 / 154,339

В муниципальных образованиях Вологодской области в период подготовки к сезонному повышению уровня воды на реках использовались рекомендации по организации первоочередного жизнеобеспечения населения в чрезвычайных ситуациях и работы ПВР пострадавшего населения. С главами районов была осуществлена корректировка планов действий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Сброс воды в период весеннего половодья на гидротехнических сооружениях области не проводился.

В связи с резким подъемом уровня воды вследствие стремительного таяния снега и выпадением обильных осадков в западных районах области в паводкоопасный период Постановлением Главы Чагодощенского муниципального района от 22 апреля 2018 года № 62 «О введении режима функционирования «Чрезвычайная ситуация» вводился режим ЧС [12].

Привлеченных сил и средств для превентивных мероприятий, ликвидаций ЧС и аварийно-восстановительных работ было достаточно - все запланированные мероприятия выполнены в полном объеме. А именно было осуществлены следующие мероприятия.

Таблица 5

Перечень проведенных мероприятий в целях снижения негативного воздействия паводковых вод на территории Вологодской области

№ п/п	Субъект Российской Федерации	Распиловка льда		Зачернение льда		Взрывные работы			Дноуглубительные работы	
		Количество мест распиловки, ед.	Длина распиловки, км	Количество мест зачернения, ед.	Количество участков, ед.	Количество участков, ед.	Количество подрывов, ед.	Запас взрывчатого вещества, т	Количество участков, ед.	Длина береговой полосы, км
1	Вологодская область	6	192,1	6	1	1	15	13*	1	0,55

* - израсходовано 4 524 тонн ВВ, резерв ВВ планировался для использования в случае ухудшения обстановки.

* - в том числе 6 тонн ВВ резерв

В период весеннего половодья на территории Вологодской области автомобильные и железнодорожные дороги, мосты, склады с ядохимикатами, накопители промышленных отходов, социально значимые объекты, объекты экономики, водозаборы из подземных источников, исправительные учреждения функционировали в штатном режиме. Проведение превентивных мероприятий по подготовке к пропуску весеннего половодья, мероприятий по смягчению рисков, реагированию на угрозы возникновения чрезвычайных ситуаций, организации взаимодействия и мониторинга обстановки в период прохождения весеннего половодья на территории Вологодской области создали условия обеспечения жизнедеятельности населения и устойчивого функционирования органов государственного управления.

Литература

1. Агафонова С.А. Ледовый режим рек севера Европейской территории России и его влияние на гидроэкологическую безопасность территории: автореферат дис. … кандидата географических наук. - М.: МГУ. - 2009. - 26 с.
2. Бузин В.А., Горошкова Н.И., Стриженок А.В., Палкина Д.А. Зависимости для прогнозов максимальных заторных уровней воды Сухоны, Юга и Малой Северной Двины и влияние на них климатических и антропогенных факторов // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. - 2014. - № 36. - С. 12 - 21.
3. Георгиевский М.В., Горошкова Н.И., Голованов О.Ф., Георгиевский Д.В., Полякова В.С. Экстремальное заторное наводнение весной 2016 г. на реке Сухона у г. Великий Устюг (формирование, прогноз, последствия) // Метеорология и гидрология. - 2018. - № 2. - С. 108 - 114.
4. Георгиевский М.В., Горошкова Н.И., Голованов О.Ф., Георгиевский Д.В., Полякова В.С., Скрипник Е.Н. Условия формирования и полевые исследования ледового затора, послужившего причиной наводнения на р. Сухона у г. Великий Устюг весной 2016 года // Георск. - 2017. - № 4. - С. 40 - 49.
5. Дудус А.Н., Лопатин С.Б., Хомяков О.В. Особенности профессиональной подготовки сотрудников для действий в экстремальных условиях на современном этапе развития уголовно-исполнительной системы России // Мир науки. - 2017. - Т. 5. - № 6. - URL: https://mir-nauki.com/PDF/69PDMN617.pdf. Дата обращения: 02.07.2018.
6. Запорожец А.И., Медведев Г.Н., Карпачев Н.С., Шахраманьян А.М. Применение вертолетов для борьбы с заторами льда на реках России // Технологии гражданской безопасности. - 2003. - № 1-2. - С. 81 - 86.
7. Калинин М.А. Формирование профессиональной готовности сотрудников уголовно-исполнительной системы к экстремальным условиям труда // Международный научно-исследовательский журнал. - 2017. - № 10-1 (64). - С. 25 - 28.
8. Методические рекомендации по предотвращению образования ледовых заторов на реках Российской Федерации и борьбе с ними. Шахраманьян М.А., Вскслер А.Б., Пчелкин В.И., Трегуб Г.Б. и др. - М.: ФЦ ВНИИ ГОЧС. - 2004. - 234 с., с ил.
9. Першин А.Е. Борьба с ледовыми заторами в районе города Великий Устюг // Аллея науки. - 2017. - Т. 1. - № 11. - С. 73 - 76.
10. Письмо филиала ФГБУ «Северное УГМС» Вологодский ЦГМС от 22.01.2018 № 03-24/98.
11. План мероприятий по подготовке к весеннему половодью 2018 года на территории Вологодской области. - URL: http://www.vologda-oblast.ru/special/dokumenty/1501603/. Дата обращения: 02.07.2018.
12. Постановление главы Чагодощенского муниципального района от 22.04.2018 года № 62 «О введении режима функционирования «Чрезвычайная ситуация». - URL: http://www.chagoda.ru/articles/2451-postanovlenija-glavy-raiona-za-2018-god.html. Дата обращения: 02.07.2018.
13. Разумов В.В., Разумова Н.В., Пчелкин В.И. Масштабы и опасность наводнений в Северо-Западном регионе России // Георск. - 2018. - Т. 12. №. 1.- С. 12 - 33.
14. Терский П.Н. Наводнения на реках бассейна Северной Двины: автореферат дис. … кандидата географических наук. - М.: МГУ, 2012. - 25 с.
15. Терский П.Н. Оценка опасности потенциальных наводнений на реках бассейна Северной Двины // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. - 2011. - № 3. - С. 90 - 101.
16. Терский П.Н., Фролова Н.Л., Наводнения на реках Севера Европейской территории России (на примере бассейна р. Северная Двина) // Известия Российской Академии наук. Серия географическая. - 2011. - № 3. - С. 88 - 99.
17. Хомяков О.В. Силовое принуждение к отказу от хулиганских действий как мера вынужденного реагирования на возможность возникновения групповых неповиновений и массовых беспорядков в учреждениях УИС // Групповые неповиновения и массовые беспорядки в учреждениях УИС: сборник материалов круглого стола (30 ноября 2017 г., г. Москва) / под общей редакцией ведущего научного сотрудника ФКУ НИИ ФСИН России, доктора экономических наук, профессора С.В. Гарника; ФКУ НИИ ФСИН России. - М.: ФКУ НИИИТ ФСИН России. - 2018. - С. 404 - 406. - URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=32288843. Дата обращения: 02.07.2018.

Сведения об авторах

Хомяков Олег Викторович, начальник кафедры боевой и тактико-специальной подготовки инженерно-экономического факультета, Федеральное казенное образовательное учреждение высшего образования «Вологодский институт права и экономики Федеральной службы исполнения наказаний», 160002, г. Вологда, ул. Щетинина, 2, тел. (8172) 53-01-03, 921-549-73-00, e-mail: okhomyakov@yandex.ru

Бортник Максим Анатольевич, начальник отдела организации культуры безопасности жизнедеятельности населения, подготовки руководящего состава и нештатных аварийно-спасательных формирований Управления гражданской защиты, Главное управление МЧС России по Вологодской области, 160009, г. Вологда, ул. Мальцева, 41, тел. (8172) 57-11-41, 911-502-33-23, e-mail: mbortnik@yandex.ru

УДК 656.61.087.27

АНАЛИЗ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ РЫБОПРОМЫСЛОВЫХ СУДОВ ПРИ РАБОТЕ НА ПРОМЫСЛЕ В ПИРАТООПАСНЫХ РАЙОНАХ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ СВЯЗАННОЙ С НАПАДЕНИЕМ ПИРАТОВ

Доктор военных наук *В.К. Тимофеев*, *М.М. Хирамагомедов, И.М. Сергиенко*

ФГБОУ ВО КГТУ

Представлен сравнительный анализ международных и внутрироссийских нормативно-правовых актов в области охраны морских судов от захвата их пиратами. Выявлено несоответствие к применению норм по безопасности рыбопромысловых и торговых судов. Предложена концептуальная модель охраны рыбопромыслового судна на промысле в пиратоопасных районах.

Ключевые слова: нормативные акты, пиратство, безопасность мореплавания, рыбопромысловые суда.

ANALYSIS OF REGULATORY AND LEGAL SECURITY OF FISHING VESSELS WHEN WORKING IN THE FISHERY IN THE PIRATE-DANGEROUS AREAS DURING AN EMERGENCY SITUATION RELATED TO THE ATTACK OF PIRATES

Dr. (Military) *V.K. Timofeev*, *M.M. Khiramagomedov, I.M. Sergienko*

KSTU, Kaliningrad, RUS

Here is presented a comparative analysis of international and domestic regulations in the field of the protection of ships from seizure by pirates. A discrepancy to the application of standards for the safety of fishing and merchant ships has been identified. A conceptual model for the protection of a fishing vessel in the field in dangerous areas has been proposed.

Keywords: regulations, piracy, fishing vessels, marine safety.

1. Введение в проблему

Все морские суда, совершающие международные рейсы; пассажирские и грузовые (500 и более тонн) суда включая высокоскоростные; морские передвижные буровые установки и портовые средства, обслуживающие такие суда, должны в целях безопасности руководствоваться обязательными требованиями главы XI-2 Международной конвенции по охране человеческой жизни на море 1974 года с поправками (СОЛАС-74) [1]. Эта глава содержит Международный кодекс по охране судов и портовых средств (ОСПС), который вступил в силу с 01 июля 2004 г.[2].

Как видно из применительной части ОСПС, его положения не распространяются на рыболовные и рыбопромысловые суда. Необходимо пояснить, что в соответствии с п. 1 ст. 7 кодекса торгового мореплавания (КТМ) РФ под судном понимается плавучее самоходное или не самоходное инженерное сооружение, предназначенное для целей торгового мореплавания. В соответствии с п. 2 этой же статьи, под рыбопромысловыми судами понимаются суда обслуживающие весь рыбопромысловый комплекс. Понятие рыболовного судна нет.

В Международной конвенции о подготовке и дипломировании персонала рыболовных судов и несения вахты 1995 г. (ПДП РС-95) отмечается, что рыболовные суда подразделяются на морские и просто рыболовные суда, предназначенные для лова рыбы и доставки её на берег для последующего использования [3].

Таким образом, в законодательстве РФ отсутствует понятие «рыболовное судно», а в международном правовом поле отсутствует понятие «рыбопромысловое судно». Поэтому, когда рыбопромысловое судно осуществляет лов рыбы – это рыболовное судно (кодекс ОСПС не применяется), а когда оно перевозит морепродукты – это транспортное судно (кодекс ОСПС применяется). В этом несоответствии дефиниций суть проблемы применения кодекса ОСПС на рыбопромысловых судах РФ, на которые распространяются нормы федерального закона (ФЗ) «О транспортной безопасности» от 09.02.2007 № 16-ФЗ.

2. Сравнительный анализ основных положений нормативно-правового обеспечения безопасности в чрезвычайной ситуации судов перевозящих грузы (торговые суда) и рыбопромысловых судов

По сути выявленной проблемы публикации отсутствуют. Анализ построения системы безопасности на торговых судах, в соответствии с кодексом ОСПС и на рыбопромысловых судах, в соответствии с ФЗ №16, суть представленного анализа. План анализа определяет: произвести детализацию требований кодекса ОСПС к построению охраны торгового судна и выполнить такие же действия в отношении ФЗ РФ «О транспортной безопасности» от 09.02.2007. Сравнить полученные результаты и разработать предложения по улучшению системы безопасности рыбопромысловых судов на промысле, то есть тогда, когда положения кодекса ОСПС на них не распространяются.

Основными научными методами при этом выбран - контент-анализ руководящих нормативно-правовых актов, информационное моделирование элементов систем охраны и синтез полученных результатов.

Контент-анализ структуры и обязательных положений кодекса ОСПС. Кодекс ОСПС состоит из 2-х частей – часть А (обязательные требования) и часть В (руководства). Частью А определяются, в области темы исследования, такие понятия как:

- план охраны судна (разработанный для применения мер на судне, предназначенных для защиты людей, груза, или судна от рисков нарушения охраны);
- лицо командного состава ответственное за охрану судна (офицер безопасности судна подотчетен капитану, назначен компанией для решения вопросов обеспечения охраны судна, включая выполнение плана охраны и связь с компетентным лицом компании);
- уровень охраны 1 (повседневный, поддерживаются минимальные меры по обеспечению охраны судна, «зелёный» уровень);
- уровень охраны 2 (ожидаемый повышенный риск происшествия, в течении какого-то времени поддерживаются дополнительные меры по охране судна, «оранжевый» уровень);
- уровень охраны 3 (когда в определенный промежуток времени нападение вероятно или неминуемо, применяются особые меры по охране судна, «красный» уровень).

Каждое судно должно иметь на борту одобренный ФБУ «Службой морской безопасности» (ФБУ СМБ) Федерального Агентства «Морского и речного флота» (Росморречфлот) план охраны судна, в котором должны быть определены действия экипажа по 3-м уровням безопасности по всем видам производственной деятельности судна [4]. План должен содержать: меры, предназначенные для выявления на судне взрывчатых веществ и холодного оружия; определять зоны ограниченного доступа; определять меры по предотвращению несанкционированного доступа на судно; порядок эвакуации при угрозе нарушения охраны; процедуры аудиторской проверки, обучения, тренировок и судовых учений; взаимодействие с охраной порта; процедуру поддержания плана в актуальном состоянии; процедуры сообщений о происшествиях; проверки судовых средств охраны; сведения о офицерах охраны судна и компании; определены места точек запуска судовой системы оповещения. Сведения, содержащиеся в плане охраны судна, являются конфиденциальной информацией.

На судне должны вестись записи: о проведении занятий, учений; нарушениях охраны; изменениях её уровня; сведениях о проверках и пересмотра плана охраны; о проверки и регулировки технических средств охраны.

В журнале «Непрерывной регистрации истории судна» который ведется или на английском или на французском или испанском языках, должны вноситься сведения обо всех заходах в иностранные порты, сведения об уровнях охраны, происшествиях и т.п.

Маркировка номера ИМО должна быть проведена методом кернения или наварными цифрами, которые окрашиваются в цвета контрастные с переборкой или корпусом судна. Места, где наносится номер ИМО, отражаются в плане охраны и должны быть как минимум в 3-х местах: на корме и вдоль бортов судна и на поперечной концевой переборки машинного отделения.

В соответствии с приказом Росморречфлота РФ от 17.06.2016 г. № 76 ФБУ «Служба морской безопасности» наделена полномочиями органа аттестации сил обеспечения транспортной безопасности на морском и внутреннем водном транспорте. После проверки, должностными лицами действий экипажа по плану охраны, при положительном результате, выдаётся международное Свидетельство об охране судна на срок до 5 лет. Для продления срока действия Свидетельства, судно представляется к проверке.

В части В поясняются и конкретизируются положения части А.

Таким образом, на всех торговых, пассажирских судах, буровых платформах и портовых средствах с 01 июля 2004 г. вводятся должностные лица из числа командного соста-

ва, ответственные за охрану судна (офицеры безопасности), которые разрабатывают план охраны. Отрабатываются все плановые элементы и документация. Предъявляется судно к проверке ФБУ СМБ, которая по результатам проверки выдаёт на судно международное Свидетельство об охране. Без этого свидетельства судно не может совершать международные рейсы [5].

Для анализа российских нормативно-правовых актов по теме исследования были выбраны следующие документы:

1. Федеральный закон «О транспортной безопасности» от 09.02.2007г. ФЗ №16.
2. Указ Президента РФ от 31 марта 2010 г. № 403 «О создании комплексной системы обеспечения безопасности населения на транспорте».
3. Постановление Правительства РФ от 21 ноября 2005 г. № 690 «Об утверждении положения об охране судоходных гидротехнических сооружений и средств навигационного оборудования».
4. Постановление Правительства РФ от 10 декабря 2008 г. № 940 «Об уровнях безопасности объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств и о порядке их объявления (установления)».
5. Распоряжение Правительства РФ от 30 июля 2010 г. № 1285-р «Комплексная программа обеспечения населения на транспорте».
6. Приказ Министра транспорта РФ от 11 февраля 2010 г. № 34 «Об утверждении порядка разработки планов обеспечения транспортной безопасности объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств».
7. Приказ Министра транспорта РФ от 12 апреля 2010 г. № 87 «О порядке проведения оценки уязвимости объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств».
8. Приказ Министра транспорта РФ от 15 ноября 2010 г. № 248 «Об утверждении отраслевых типовых норм времени на работы по проведению оценки уязвимости объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств от актов незаконного вмешательства».
9. Приказ Министра транспорта РФ от 21 февраля 2011 № 62 «О Порядке установления количества категорий и критериев категорирования объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств компетентными органами в области обеспечения транспортной безопасности».
10. Приказ Федерального Агентства морского и речного транспорта РФ от 18 ноября 2011 г. № 230 «Об утверждении форм документов, необходимых для осуществления процедуры аккредитации юридических лиц на проведение оценки уязвимости объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств».
11. Приказ Министра транспорта РФ от 21 февраля 2011 № 62 «О Порядке установления количества категорий и критериев категорирования объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств компетентными органами в области обеспечения транспортной безопасности».

Контент-анализ ФЗ-16 «О транспортной безопасности» от 09.02.2007г. (ФЗ-16) показал, что текст закона имеет рамочную структуру. Его положения требуют принятие дополнительных подзаконных нормативно-правовых актов, или официальных комментариев [6, 7].

Так в п. 11,г ст. 1 говорится, что действия закона распространяются на суда, используемые в целях торгового мореплавания (морские суда), за исключением, используемых для санитарного, карантинного и другого контроля, прогулочных судов, спортивных парусных судов, а также искусственных установок и сооружений, которые созданы на основе морских плавучих платформ. В соответствии с ст.2 КТМ РФ деятельность рыбопромысловых судов относится к торговому мореплаванию. Поэтому правомочно применять ФЗ №16 для разработки плана охраны рыбопромыслового судна.

Контент-анализ планов охраны рыбопромысловых судов позволяет сделать следующие выводы:

- в соответствии с п.5 ст.9 ФЗ-16 на судах разрабатываются и утверждаются в ФБУ СМБ паспорта безопасности судна, которые и являются планом охраны;
- на рыбопромысловых судах не предусмотрено: ведение «Журнала непрерывной истории судна»; не требуется наносить номер ИМО судна на специально отведенные места;
- отсутствуют планы охраны на период подготовки, постановки и выборки рыболовных снастей, так как практически весь экипаж задействован на обеспечении этой деятельности.

В результате, пираты имеют возможность захватить рыбопромысловое судно, подойдя к нему на быстроходных лодках. Из этой ситуации есть выход – оборудование убежища на судне, в которое люди могут спрятаться от пиратов, предварительно сообщив о нападении и о том, что в заложники никто не взят. В этом случае военно-морские силы, которые находятся в районе, посылают самолет или вертолет, который применяет оружие против всех, кто находится на верхней палубе. Осуществляют высадку и освобождают судно.

3. Заключение

В результате проведенного исследования установлено:

1. Требования кодекса ОСПС на рыбопромысловые суда не распространяются. Компании, имеющие эти суда, в области безопасности предпочитают руководствоваться ФЗ «О транспортной безопасности» от 09.02.2007г (ФЗ №16), положения которого не конкретные, и дополнены многими подзаконными актами (см. список источников).
2. План охраны рыбопромыслового судна не содержит мероприятий по охране при постанове и выборке рыболовных снастей. Так как весь экипаж занят на обеспечении производственного процесса. Должным образом вести наблюдение за обстановкой и своевременно обнаружить приближающиеся пиратские лодки некому.
3. Проблему можно решить 2-мя способами: использовать частную морскую охранную компанию (ЧМОК) или создать систему безопасности рыбопромыслового судна на промысле в пиратоопасных районах.
4. Концептуальная модель этой системы представляется авторам в следующем виде. Объектами охраны является рыбопромысловое судно и экипаж. Так как, при ведении промысла, невозможно создать вдоль всех бортов барьеры из режущей проволоки и водяной защиты, то единственным выходом остаётся обустройство на судне убежища (цитадели) для экипажа. Само же судно должно иметь средства обнаружения пиратов, средства оповещения экипажа для сбора в убежище, средства связи для передачи военно-морским силам информацию о захвате судна и др. Обоснование создания такой системы и её структура будут изложены в следующей статье.

Литература

1. Международная конвенция по охране человеческой жизни на море 1974 года с поправками (СОЛАС - 74).
2. Международный кодекс по охране судов и портовых средств 2002 г. (ОСПС).
3. Международная конвенция о подготовке и дипломировании персонала рыболовных судов и несения вахты 1995 г. (ПДП РС-95).
4. Тимофеев В.К. Морской терроризм и пиратство: учебное пособие /В.К. Тимофеев. - Калининград: Изд-во БГАРФ. - 2012. – 204с.
5. Циркуляр MSC.1/CIRC.1339 от 14 сентября 2011 г. Наиболее эффективные методы защиты от пиратства, базирующегося на территории Сомали

6. Пестонюк Р.В., Тимофеев В.К., Хирамагомедов М.М.. Элементы оценки риска для предотвращения чрезвычайной ситуации при захвате судна пиратами.//IV Балтийский морской форум: материалы международного морского форума, 22-28 мая 2016 г., – Калининград: Изд-во БГАРФ. - 2016. С. 112-115

7. Бондарев В.А., Тимофеев В.К., Хирамагомедов М.М., Анализ статистических данных Международного Морского Бюро Международной Торговой Палаты по чрезвычайным ситуациям с судами при захвате их пиратами в период 2005-2015гг. //IV Балтийский морской форум: материалы международного морского форума, 22-28 мая 2016 г., – Калининград: Изд-во БГАРФ. - 2016. С. 16-19.

Сведения об авторах

Тимофеев Владимир Константинович, профессор, заведующий кафедрой безопасности мореплавания БГАРФ ФГБОУ ВО КГТУ, г. Калининград, 236029, ул. Молодёжная 6

Хирамагомедов Магомед Магомедович, аспирант ФГБОУ ВО КГТУ, г. Калининград, 236029, ул. Молодёжная 6, e-mail: tvkfpmp@mail.ru, моб. 8-962-260-98-11

Сергиенко Илья Михайлович, аспирант ФГБОУ ВО КГТУ, г. Калининград, 236029, ул. Молодежная 6, e-mail: tvkfpmp@mail.ru, моб. 8-962-260-98-11

Реферативный журнал ВИНИТИ
«РИСК И БЕЗОПАСНОСТЬ»

Реферативный журнал (РЖ) "Риск и безопасность" - периодическое информационное издание, в котором публикуются рефераты, аннотации и библиографические описания, составленные из периодических и продолжающихся изданий книг, трудов конференций, картографических изданий, диссертационных работ, патентных и нормативных документов, депонированных научных работ по проблемам риска и безопасности. За год освещается свыше 1,5 тыс. статей из более чем 70 основных журналов и сборников, примерно из 30 журналов по смежным наукам, издаваемых в Российской Федерации и за рубежом.

Разделы РЖ "Риск и безопасность:

• общие проблемы риска и безопасности;

• теоретические основы обеспечения безопасности и оценки риска;

• организация служб противодействия чрезвычайным ситуациям природного и техногенного характера;

• технология и техника для проведения аварийно-спасательных работ;

• предупреждение возникновения и развития чрезвычайных ситуаций различного характера и их ликвидация;

• социальная безопасность;

• информационная безопасность, защита информации;

• медицина катастроф, медицинская помощь при аварийно-спасательных работах;

• техника безопасности и средства защиты при аварийно-спасательных работах.

Издание выходит 12 раз в год.

Индекс по каталогу: **56224**.

Оформить подписку на информационные издания ВИНИТИ РАН, а также заключить договоры на приобретение реферативного журнала в электронной форме (ЭлРЖ) Вы можете по адресу:

125190, Россия, г. Москва, ул. Усиевича, 20,

Телефоны: 8 (499) 155-44-89; (499) 152-42-85
8 (499) 151-78-61;
E-mail: contact@viniti.ru, Feo@viniti.ru

Реферативный журнал ВИНИТИ
«ПОЖАРНАЯ ОХРАНА»

Реферативный журнал "Пожарная охрана" - периодическое издание ВИНИТИ по проблемам пожарной безопасности. В выпуске "Пожарная охрана" за год освещается свыше 3 тыс. статей из более чем 60 основных по пожарной тематике журналов и сборников, примерно из 30 журналов по смежным наукам, издаваемых в Российской Федерации и за рубежом.

Разделы РФ "Пожарная охрана":

• общие проблемы пожарной безопасности;
• организация пожарной охраны; пожарная техника;
• тушение пожаров и тактика тушения;
• процессы горения в условиях пожара;
• пожарная опасность веществ и материалов;
• снижение пожарной опасности, огнезащита;
• пожарная безопасность электросетей и электроустановок;
• пожарная безопасность различных отраслей народного хозяйства, строительства, жилых и общественных зданий, сельского и лесного хозяйства;
• техника безопасности и индивидуальные средства защиты в пожарной охране;
• пожарная сигнализация.
• Периодичность издания – 12 номеров в год.

Индекс по каталогу: **56136.**

Оформить подписку на информационные издания ВИНИТИ РАН, а также заключить договоры на приобретение реферативного журнала в электронной форме (ЭлРЖ) Вы можете по адресу:

125190, Россия, г. Москва, ул. Усиевича, 20,

Телефоны: 8 (499) 155-44-89; (499) 152-42-85
8 (499) 151-78-61;
E-mail: contact@viniti.ru, Feo@viniti.ru

Научный информационный сборник
«ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ»

Предназначен для руководителей и специалистов государственных служб, научных организаций и промышленных предприятий, которые занимаются безопасностью населения, территорий и промышленных объектов, а также для преподавательского состава по подготовке кадров всех уровней в области обеспечения безопасности в различных сферах деятельности.

Научный информационный сборник издается Всероссийским институтом научной и технической информации (ВИНИТИ) при участии МЧС России с 1990 г. с периодичностью 6 номеров в год, объемом 12 авт. листов каждый, ISSN 0869-4176.

В состав редколлегии входят ведущие специалисты в области проблем безопасности институтов и организаций РАН, МЧС России, Минатома России, Минюста России, Горгостехнадзора России, Минэкономики России и других министерств и ведомств России.

Сборник является междисциплинарным научно-техническим изданием в данной области. За 21 год существования журнала сложился высокоэрудированный авторский коллектив из специалистов различных отраслей науки и промышленности.

Решением Президиума ВАК Минобрнауки России научно-информационный сборник "Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций" включён в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёных степеней доктора и кандидата наук.

В журнале освещаются:

- основы государственной политики в области безопасности;
- правовое регулирование в области предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций;
- обзор теоретических и практических методов оценки риска различных объектов и прогнозирования ЧС; управление рисками различных категорий; страхование;
- научно-теоретические и инженерно-технические разработки в области проблем безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций; проблемы безопасности транспортных систем;
- организация служб гражданской защиты и комплексной безопасности населения; проблемы безопасности личности, общества и государства;
- подготовка специалистов для государственных служб безопасности, преподавательского состава и учащихся высших и средних учебных заведений по дисциплинам: "Безопасность жизнедеятельности", "Пожарная безопасность" и "Экология";
- международное сотрудничество в области безопасности;
- информационная безопасность;
- проблемы "Медицины катастроф";
- статистические данные о чрезвычайных ситуациях в России и за рубежом; информация о конгрессах, семинарах, совещаниях и выставках, а также о новых изданиях по проблемам безопасности и чрезвычайных ситуаций.

Более подробно о журнале можно узнать на сайте по адресу **http://www.viniti.ru**.

По вопросу публикаций обращаться по: телефону (499) 155-44-26; E-mail: **tranbez@viniti.ru**.

Периодичность журнала - 6 номеров в год, **индекс 55431** по Каталогу Роспечати "Издания органов научно-технической информации".

Оформить подписку на информационные издания ВИНИТИ РАН, а также заключить договоры на приобретение реферативного журнала в электронной форме (ЭлРЖ) Вы можете по адресу:

125190, Россия, г. Москва, ул. Усиевича, 20,

Телефоны: 8 (499) 155-44-89; (499) 152-42-85
8 (499) 151-78-61;
E-mail: contact@viniti.ru, Feo@viniti.ru

Научный информационный сборник зарегистрирован в Роскомнадзоре:
Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-57408 от 24 марта 2014 г.
Подписано в печать 11.02.2019 г. Формат 60x84 1/8
Печать цифровая. Бум. офсетная. Усл. печ. л. 14,75 Уч.-изд. л. 12,04 Тираж 79 экз.
Адрес редакции: 125190, Москва, ул. Усиевича, д. 20
Тел. 8 (499) 155-44-21, e-mail: tranbez@viniti.ru

ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ!

С 2018 года возобновляется издание информационного бюллетеня «Иностранная печать об экономическом, научно-техническом и военном потенциале государств-участников СНГ и технических средствах его выявления» серии «Экономический и научно-технический потенциал» (56741) взамен информационного бюллетеня «Экономика и управление»

Периодичность выхода – 12 номеров в год. Объем 48 уч.-изд. л. в год.

В бюллетене освещаются материалы иностранной печати по широкому спектру вопросов, касающихся сфер экономического и научно-технического развития России и стран СНГ: общие вопросы, финансы, промышленность, рынки, сельское хозяйство, космос, транспорт и связь, природные ресурсы, трудовые ресурсы, внешние торгово-экономические и научные связи

Оформить подписку на информационный бюллетень, начиная с любого номера, можно в ВИНИТИ РАН по адресу: 125190, Россия, Москва, ул. Усиевича, 20,

Телефоны: (499) 151-78-61; (499) 155-42-85

Факс: (499) 943-00-60;

E-mail: contact@viniti.ru; sales@viniti.ru