

ВСЕРОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ (ВИНИТИ)

ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Научный информационный сборник

Издается с 1990 г.

№ 2

Москва 2016

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 ВИНТИ 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

<i>Махутов Н.А., Назолин А.Л.</i> Диагностика состояний и обоснование безопасности турбогенераторов критически и стратегически важных энергоустановок	3
<i>Гаенко В.П.</i> Метод обоснования рационального плана ликвидации последствий аварии на потенциально опасном объекте на основе применения модифицированной процедуры метода анализа иерархий.....	25
<i>Войтков И.С., Высокоморная О.В., Забелин М.В.</i> Особенности тушения пламен горючих жидкостей полидисперсным водяным потоком.....	36
<i>Дурнев Р.А., Мещеряков Е.М.</i> Повышение устойчивости функционирования критически важных объектов при воздействии современных средств поражения: перспективные задачи гражданской обороны.....	43
<i>Арутюнян Р.В., Пантелеев В.А., Сегаль М.Д.</i> Состояние разработки вероятностного анализа безопасности третьего уровня (ВАБ-3) для объектов использования атомной энергии	49
<i>Борисова Л.Р.</i> Исследование динамики количества техногенных чрезвычайных ситуаций, связанных с выбросом опасных химических и радиоактивных веществ.....	58
<i>Таранцев А.А., Чикитов Ю.И.</i> Применение беспилотных летательных аппаратов при тушении крупных лесных пожаров в зоне действий авиационных сил и средств.....	69
<i>Агеев С.В., Подрезов Ю.В., Романов А.С., Виноградов А.В., Рыкачёв Е.М.</i> Особенности возникновения, развития и борьбы с торфяными пожарами на болотах.....	75
<i>Колесов В.И., Петров А.И.</i> Модель динамики автомобилизации в задачах прогноза показателей безопасности дорожного движения	81
<i>Казакова Н.Р., Черных А.К.</i> О методике диагностики светлых нефтепродуктов для установления причин возникновения пожаров на объектах нефтегазового комплекса.....	85

Защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций

Горячева Е.В. Влияние экзистенциальных факторов на профессиональное долголетие сотрудников ФПС МЧС России в климатических условиях Кольского заполярья 93

Информационная безопасность

Пляскина И.В., Кусилов В.К., Горячева Е.В. Мониторинг ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий в рамках задач, выполняемых МЧС России 104

CONTENTS

<i>Makhutov N.A., Nazolin A.L.</i> Diagnostic of states and justification of safety of turbo generators critically and strategically important power stations.....	3
<i>Gaenko V.P.</i> Method substantiation rational plan elimination of consequences of the accident at potentially hazardous objects using a modified procedure of hierarchy analysis method	25
<i>Voytkov I.S., Vysokomornaya O.V., Zabelin M.V.</i> The features of extinguishing the flames of flammable liquid sbyopoly disperse water flow.....	36
<i>Durnev R.A., Mesheryakov E.M.</i> Improve the sustainability of critical facilities under the influence of modern: perspective civil defense tasks	43
<i>Arutyunian R.V., Panteleev V.A., Segal M.D.</i> The state of development of probabilistic safety analysis of the third level (PSA level 3) for nuclear facilities.....	49
<i>Borisova L.R.</i> Investigation of quantity of technogenic emergency situations which deals with danger chemical and radiation substance rejection.....	58
<i>Tarantsev A.A., Chikitov Y.</i> Application of pilotless aircrafts at extinguishing of large forest fires in zone of actions of aviation forces and facilities	69
<i>Ageev S.V., Podrezov J.V., Romanov A.S., Vinogradov A.V., Rykachev E.M.</i> Features of, development and poverty peat fires in the swamp	75
<i>Kolesov V.I., Petrov A.I.</i> Model of automobilization dynamics in tasks of the indicators traffic safety forecast	81
<i>Kazakova N.R., Chernykh A.K.</i> About the methods of diagnostics of light oil products to establish the causes of fires at oil and gas facilities.....	85
<i>Goryacheva E.V.</i> Influence of existential factors on the longevity of the professional staff of the federal fire service of Emercom of Russia in climatic conditions of the Kola polar region.....	93
<i>Playskina I.V., Kusilov V.K., Goryacheva E.V.</i> Monitoring of liquidation of consequences of road accidents within the objectives of the Emercom of Russia	104

Научный редактор – заслуженный деятель науки и техники РФ, академик РАТ,
доктор технических наук, профессор Резер С.М.

Выпускающий редактор: Тимошенко З.В.

Адрес редакции: ВИНТИ: 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) 155-45-25, (499) 155-44-61

УДК. 620.171.2

ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЙ И ОБОСНОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ КРИТИЧЕСКИ И СТРАТЕГИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК

Чл.-корр. РАН, доктор техн. наук *Н.А. Махутов*
ИМАШ им. А.А. Благонравова РАН

Доктор техн. наук *А.Л. Назолин*
МГТУ им. Н.Э. Баумана

Разработана методика и представлены результаты экспериментального определения частотных характеристик ускоряемости конструкции статора и ротора мощного турбогенератора, от мест возникновения дефектов ослабления креплений до обшивки корпуса статора и сечений ротора. Методика предназначена для применения на выведенных в капитальный ремонт турбогенераторах электростанций и (или) на стендах заводов изготовителей. Использует метод ударного возбуждения возбудителем, не прикрепленным к конструкции. Приведен состав измерительной аппаратуры и параметры обработки сигналов ударных сил и реакций. Дана оценка погрешности определения частотной характеристики калибровочного блока.

Проведен сравнительный анализ частотных характеристик, полученных на четырех статорах и роторах турбогенераторов с разным техническим состоянием узлов креплений, размеров дефектов и сроком службы. Рассчитаны параметры контроля правильности измерений, и дана оценка погрешностей измерения. Показана возможность оценки частотных характеристик статора на одном турбогенераторе каждого типа. Обоснована схема установки датчиков на обшивке корпуса статора, позволяющая проводить локацию местонахождения дефекта с точностью до сектора окружности статора с центральным углом в 90°. Показаны недостатки модели мгновенного удара для оценки возможности обнаружения дефектов статора на работающем турбогенераторе.

Полученные оценки частотных характеристик статора и ротора могут быть использованы для имитационного моделирования виброакустических колебаний работающего турбогенератора с дефектами ослабления креплений и сечений ротора с целью ответа на вопрос о возможности обнаружения дефектов статора и определения спектральных диагностических признаков неисправностей.

Ключевые слова: конструкция статора и ротора, дефекты ослабления сечений и креплений, ударные испытания, сигнал силы, сигнал реакции, частотная характеристика ускоряемости, контроль правильности измерений, динамическая жесткость, динамическая податливость, диагностические признаки, обнаружение дефектов.

DIAGNOSTIC OF STATES AND JUSTIFICATION OF SAFETY OF TURBOGENERATORS CRITICALLY AND STRATEGICALLY IMPORTANT POWER STATIONS

Corresponding member of the RAS, Dr. (Tech.) *N.A. Makhutov*
Institute of Machine Sciences. Russian Academy of Sciences

Dr. (Tech.) *A.L. Nazolin*
BMSTU, Moscow, Russia

The study presents a methodology and results of experimental definition of frequency characteristics of acceleration the structure of stator turbogenerator from places of appearance of defects of weakening of fastenings up to covering of housing of a stator. The technique is intended for application on the turbogenerators of power plants removed in overhauling and (or) at stands of manufacturers. The technique uses a method of impact excitation by the exciter which is not attached to the structure. The list of measurement equipment and parameters of processing of signals of impacts and reactions is given. Error estimation of definition of the frequency characteristic of the calibration block is given.

The study offers a comparative analysis of frequency characteristics obtained at four stators of turbo generators TBB-320-2 being in different technical conditions and at different ages. It contains a calculation of measurement accuracy control parameters and an evaluation of measurement errors, demonstrates the possibility of an assessment of the frequency characteristics of a stator on one turbo generator of each type is shown. The scheme of installation of sensors on housing of a stator allowing to locate defects to within sector with the central corner to the 90th hail is proved.

The received estimates of the frequency characteristics of acceleration of the structure of stator can be used for a simulation modeling of vibroacoustic fluctuations of a covering of a housing of a stator of the working turbo generator with defects of weakening of fastenings for the purpose of the answer to a question of possibility of detection of defects and definition of spectral diagnostic signs of malfunctions.

Key words: Stator structure, defects of weakening of fastenings, shock tests, impact signal, response signal, frequency characteristic of acceleration, control of correctness of measurements, dynamic rigidity, dynamic pliability, diagnostic signs, defect detection.

1. Постановка проблемы

Крупнейшие аварии и катастрофы на критически (КВО) и стратегически (СВО) важных объектах энергетики (ТЭС, АЭС и ГЭС) в значительной степени были связаны с отказами турбогенераторов и гидроагрегатов [1-3].

Турбогенераторы тепловых и атомных электростанций и гидроагрегаты ГЭС станций являются важнейшими их компонентами, состояние которых определяет их работоспособность, ресурс и безопасность.

Примерами таких отказов, аварий и катастроф в нашей стране были чрезвычайные ситуации на Костромской и Каширской ГРЭС, Ленинградской АЭС и Саяно-Шушенской ГЭС. Предупреждение таких аварий и катастроф на турбогенераторах и гидроагрегатах требует выполнения большого объема работ по расчетам, моделированию, диагностике и мониторингу их состояний на всех стадиях жизненного цикла.

Техническая диагностика с применением ультразвуковых, вибрационных, тензометрических, тепловизионных, акустоэмиссионных методов на деталях, узлах и компонентах турбогенераторов и гидроагрегатов стала важным элементом подтверждения ресурса и безопасности.

Интегральная диагностика таких основных компонентов, как статоры и роторы, стала самостоятельной, актуальной и сложной задачей современной энергетики.

Статоры и роторы крупных турбогенераторов мощностью от 165 до 1200 МВт представляют собой сложные сборные конструкции длиной 6 - 25 метров, диаметром 250÷1200 мм (ротора) и более 4 - 5 м (статора) и массой более 150 – 290 тонн. Сложность рассматриваемых ниже статоров заключается в том, что корпус состоит из нескольких однотипных отсеков, каждый из которых представляет собой коробчатую систему с рез-

кими изменениями сечений, обусловленными наличием окон в поперечных стенках, а также тем, что шихтованный, набранный из листов электротехнической стали, сердечник закрепляется в корпусе с помощью упругих элементов (рис. 1).

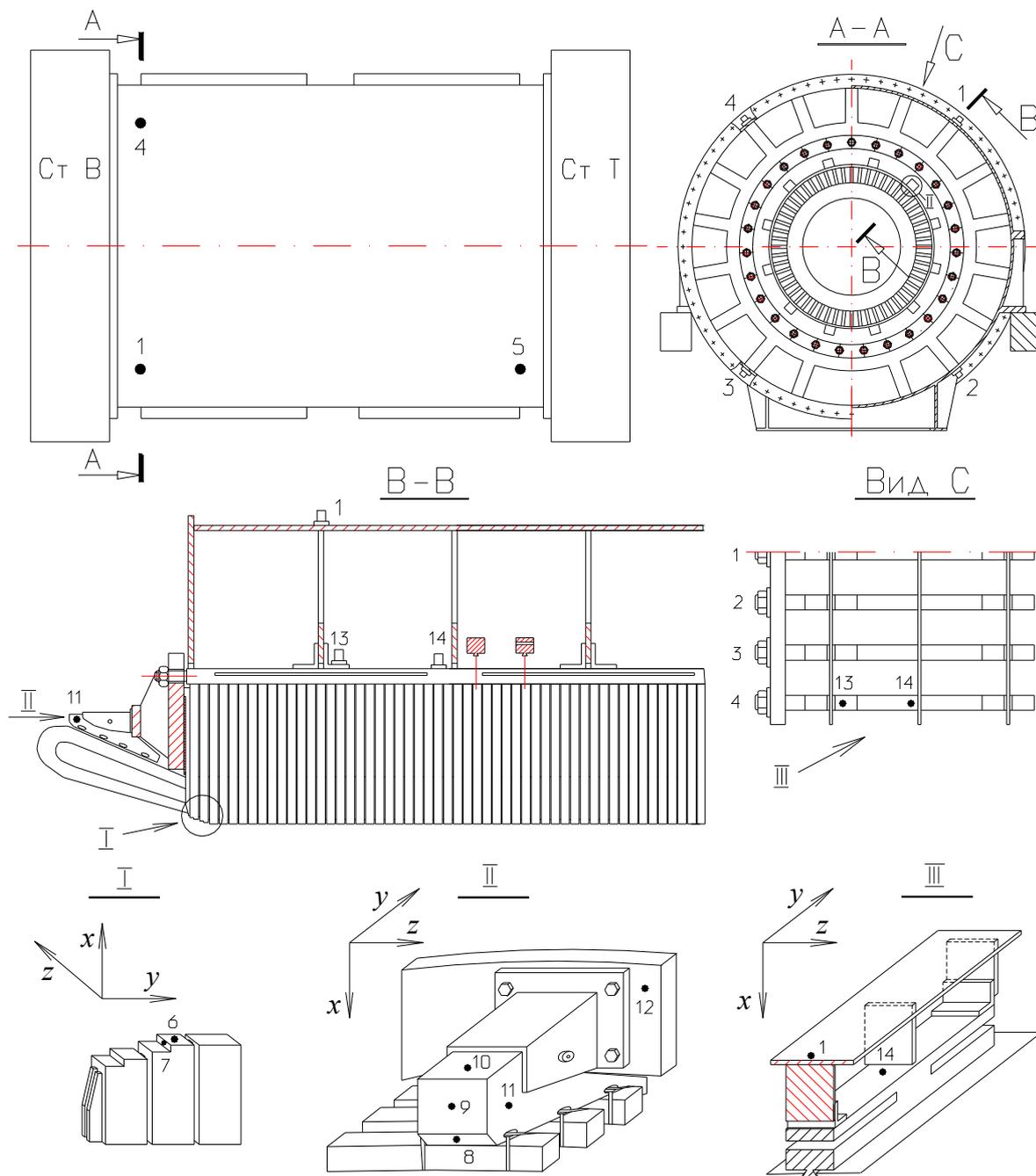


Рис. 1. Схема статора и расположения точек ударного возбуждения и замера реакций конструкции статора турбогенератора серии ТВВ:
 I – крайние пакеты зубца сердечника; II – фрагмент нажимной плиты с кронштейном крепления лобовых частей обмотки статора; III – фрагмент упругой подвески сердечника в корпусе статора

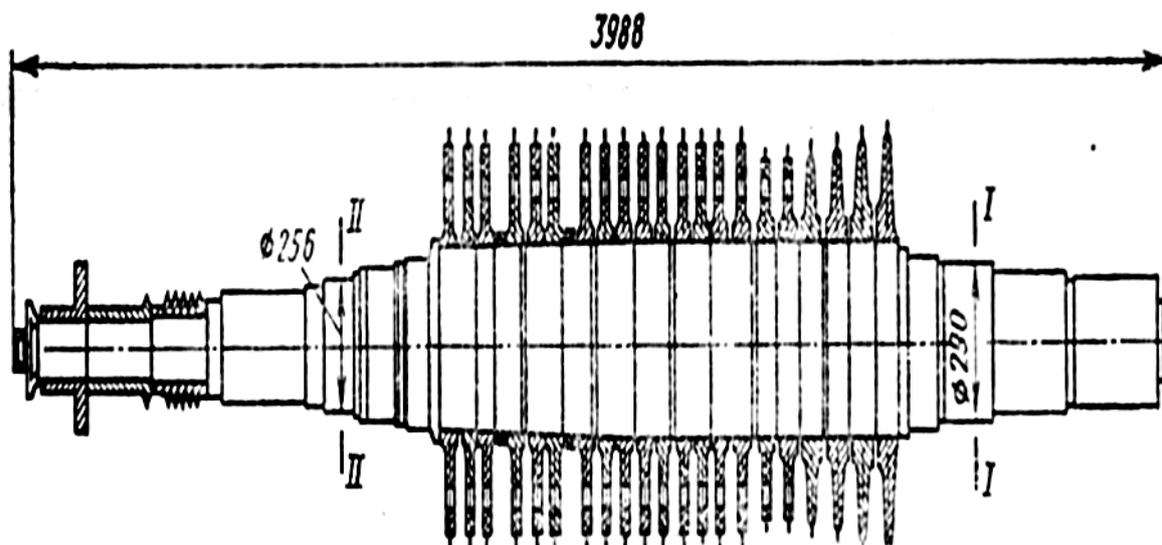


Рис. 2. Ротор высокого давления турбины АТ-25
I и II – сечения, в которых выполнялись надрезы для экспериментальной апробации методики вибродиагностики

В турбогенераторах серии ТВВ применяется аксиально-стержневая упругая подвеска сердечника в корпусе статора, которая представляет собой систему равномерно расположенных по длине и окружности статора аксиально ориентированных стяжных ребер с продольными сквозными прорезями. Виброизоляция сердечника осуществляется за счет упругого изгиба балок, податливых в радиальном и тангенциальном направлениях. Исследовавшийся ротор турбины высокого давления с дисками и турбинными лопатками показан на рис. 2 [1].

2. Диагностика статоров

В силу сложности конструкции статора, неопределенности многочисленных связей и механических свойств некоторых его элементов, точно теоретически описать динамические свойства статора в широком диапазоне частот крайне затруднительно. В низкочастотной области эти свойства изучены давно и в литературе представлено достаточно полно [4, 5]. Они используются для расчета вынужденных колебаний исправного статора под действием вращающегося магнитного поля с номинальной частотой 100 Гц. В диапазоне частот выше 200–300 Гц, имеющем практическое значение для решения задач виброакустической диагностики и предупреждения аварийных ситуаций, эти свойства остаются до сих пор малоизученными.

Необходимость определения частотных характеристик статоров турбогенераторов в широком диапазоне частот возникает при разработке виброакустической диагностической модели статора, имеющего дефекты ослабления креплений его элементов, формализованным методом. По данным заводов-изготовителей и исследовательских инженерных центров [7, 8] дефекты ослабления креплений являются одной из основных причин повреждений мощных турбогенераторов, определяющих их надежность и ресурс. Это дефект ослабления креплений сердечника в корпусе статора, обмотки в пазовой и лобовой части, дефект распушения листов крайних пакетов активной стали. Все они характеризуются величиной зазора и длиной ослабленного участка, носят локальный характер, развиваются во время работы генератора под нагрузкой. На работающем генераторе дефекты представляют собой виброударные системы, возбуждающие виброакустические

колебания конструкции статора. Во время ремонта они обнаруживают себя по продуктам износа и разрушения элементов статора.

Временной метод исследования прохождения импульсов сил и ускорений через сборную конструкцию статора, обладающую большим числом степеней свободы, не позволяет получить достаточно простые и точные аналитические зависимости, поэтому более целесообразен частотный метод исследования [6]. Достоинством частотного метода является то, что механическая подвижность статора в форме частотных характеристик ускоряемости может быть получена экспериментально в ходе динамических испытаний. С их помощью можно описать динамическое поведение составных частей конструкции статора и объекта в целом, определить модальные характеристики статора, оценить реакцию конструкции на известное входное возбуждение. Ограниченность метода состоит в том, что он применим лишь к конкретным объектам и, поэтому его результаты не могут быть автоматически, без проверки применены к статорам турбогенераторов других типов и серий.

Частотные характеристики статора позволяют провести имитационное моделирование реакций конструкции статора на известные паразитные динамические воздействия в дефектных узлах креплений [9, 10, 11] и ответить на вопрос о возможности обнаружения дефектов статора по спектру виброускорения обшивки корпуса статора работающего генератора, определить диагностические признаки неисправностей [12], обосновать число и схему установки датчиков. На практике, в условиях электростанций, наиболее простым, удобным и, в ряде случаев, единственным возможным методом возбуждения элементов статора в широком диапазоне частот является метод ударного возбуждения возбуждателем, не прикрепленным к конструкции. Рассмотрим методику ударных испытаний и дадим анализ результатов экспериментального определения частотных характеристик конструкций статоров 4-х турбогенераторов типа ТВВ-320-21.

Экспериментальное определение частотных характеристик ускоряемости конструкций статоров 4-х турбогенераторов типа ТВВ-320-2 длиной 8,62 м, диаметром 4,1 м и массой 203 т проводили в период проведения их капитальных ремонтов с учетом рекомендаций ГОСТ ИСО 7626-5-99 [13]. Срок эксплуатации турбогенераторов от 1 года до 50 лет. Техническое состояние разное: от удовлетворительного, без дефектов ослабления креплений, до неудовлетворительного с дефектами ослабления креплений. Применяли измерительную аппаратуру в составе: ударный молоток АУ01 со встроенным пьезоэлектрическим датчиком силы АС21, семь вибропреобразователей АР-40 (ООО «Глобал Тест»); 8-ми каналный виброанализатор МІС-300М с усилителями заряда МР-07 (НПП «Мера»). Обработку сигналов проводили в пакете «WinПОС» НПП «Мера».

Целью ударных испытаний являлось экспериментальное определение передаточных частотных характеристик ускоряемости конструкции статора от мест возникновения дефектов ослабления креплений до обшивки корпуса статора и точечных частотных характеристик ускоряемости элементов статора.

Схема ударных испытаний статоров представлена на рис. 1. Здесь жирными точками с номерами обозначены места ударного возбуждения и измерения реакций. Направление возбуждения и измерения реакции обозначены дополнительными индексами x , y , z . Выбор точек охватывает основные конструктивные элементы статора, в которых возникают подлежащие обнаружению дефекты (рис. 1), а именно:

1. Пазовая часть сердечника. Здесь возникает дефект ослабления клиновки обмотки статора. На работающем генераторе радиальное магнитное поле статора возбуждает виброударные колебания освободившихся из закрепления участков стержней обмотки в пре-

¹ Авторы выражают благодарность Полякову В.И. за помощь в организации и проведении экспериментов.

делах образовавшихся зазоров между стержнями обмотки статора, между верхним стержнем и пазовым клином, между нижним стержнем и дном паза сердечника. В условиях электростанции организовать ударное возбуждение в пазовой части сердечника без демонтажа стержней обмотки невозможно, поэтому возбуждали, и измеряли реакции зубца сердечника в направлении бх;

2. Крайние пакеты зубцов сердечника. Здесь возникает дефект распушения крайних пакетов. На работающем генераторе переменное аксиальное магнитное поле статора возбуждает виброударные колебания освободившихся из закрепления листов крайних пакетов с ударами по зубцу сердечника в направлении 7у. Поэтому возбуждали зубец сердечника в точке 7у. Измерения реакций в этой точке из-за невозможности установки датчика не проводили;

3. Торцевая зона сердечника. Здесь возникает дефект ослабления узлов крепления лобовых частей обмотки, в частности, бандажных колец к вкладышу кронштейна, кронштейнов к нажимной плите сердечника и др. На работающем генераторе магнитная вибрация корзинок лобовых частей обмотки статора и ее ослабленных элементов может сопровождаться ударным взаимодействием с вкладышем кронштейна крепления лобовых частей и нажимной плитой сердечника. Поэтому возбуждали и измеряли реакции в точках 8х, 9у, 10х, 11z, 12у;

4. Спинка сердечника. Здесь возникают дефекты ослабления крепления ласточкина хвоста стяжного ребра в пазу сердечника, трещины в сварных швах и элементах конструкции корпуса статора. На работающем генераторе “магнитная” вибрация сердечника и корпуса статора возбуждает паразитные колебания освободившихся из закрепления участков стяжных ребер с возможными ударами в пределах зазоров паза. Здесь направления ударов и измерения реакций 13х, 14х.

Измерения реакций в форме виброускорения осуществляли с помощью вибропреобразователей АР-40, закрепленных на элементах конструкции статора с помощью метилцианакрилатного клея. При соблюдении рекомендаций ГОСТ Р ИСО 5348-99 [14] такое закрепление датчика обеспечивает сохранение рабочего частотного и динамического диапазона измерений, аналогичного креплению с помощью шпильки. Ударное возбуждение конструкции проводили в максимально широком диапазоне частот с помощью ударного молотка с бойком из стали.

Для оценки затухания сигналов реакций по длине и окружности корпуса статора на обшивке корпуса закрепляли 5 датчиков АР-40 в точках 1х, 2х, 3х, 4х, 5х. Точки измерений внутри статора расположены на минимальном расстоянии от точки 1. При ударном возбуждении внутренних элементов статора измеряли сигнал ударной силы в точках 6, 7, ... 14 и сигналы реакций на обшивке корпуса в точках 1х, 2х, ... 5х. При ударе возбуждения обшивки корпуса измеряли сигнал ударной силы в точке 1х и сигналы реакций в точках 6, 7, ... 14.

При ударных испытаниях наилучшее отношение сигнал/шум дает оценка частотной характеристики вида [13, 15]

$$\hat{H}_{i,j}(f) = \frac{\hat{G}_{F_j X_i}(f)}{\hat{G}_{F_j F_j}(f)}, \quad (1)$$

где

$$\hat{G}_{F_j X_i}(f) = \frac{1}{n_d} \sum_{k=1}^{n_d} \hat{F}_{j,k}(f) \cdot \hat{X}_{i,k}(f) \quad (2)$$

- оценка усредненного взаимного спектра сигналов реакции и силы,

$$\widehat{G}_{F_j F_j}(f) = \frac{1}{n_d} \sum_{k=1}^{n_d} \widehat{F}_{j,k}(f) \cdot \widehat{F}_{j,k}^*(f) \quad (3)$$

- оценка усредненного взаимного спектра сигнала силы. Здесь: $\widehat{F}_{j,k}(f)$ и $\widehat{X}_{i,k}(f)$ - оценка комплексного спектра k -й реализации сигнала ударного возбуждения $F_j(t)$ и сигнала реакции системы $x_i(t)$ соответственно; $n_d \geq 3$ - число реализаций (ударов), по которым проводится усреднение. Индекс i используется для указания точки, в которой происходит определение реакции системы, а индекс j для указания точки возбуждения системы.

Для улучшения отношения сигнал/шум перед расчетом оценок по формуле (1) к сигналам силы и реакции дополнительно применяли метод временного «взвешивания». Оцифрованный сигнал силы $F_j(t)$ умножали на окно силы - весовую функцию, значение которой равно единице на участке записи, включающем в себя сигнал силы с учетом отклика фильтра, и равную нулю на оставшемся участке. Оцифрованный сигнал реакции $x_i(t)$ умножали на экспоненциальную весовую функцию $e^{-\alpha t}$, где значение параметра α рассчитывали по формуле [13]

$$\alpha = -\ln(0,1)/\tau, \quad (4)$$

где τ - оценка времени, за которое отношение пикового значения сигнала реакции в средней области записи к его максимальному значению достигает примерно 0,1. Для стантов турбогенераторов типа ТВВ-320-2 оценка времени $\tau \cong 0,12$ с. По формуле (4) находим $\alpha = 19 \text{ с}^{-1}$ и минимальное время одной реализации [13]

$$T_p = -\ln(0,01)/\alpha = 0,24 \text{ с}. \quad (5)$$

При расчете оценок (1) применялся алгоритм быстрого преобразования Фурье. Поэтому использовали временные реализации большей длительности $T = 0,256$ с. Частота дискретизации сигналов $f_d = 64$ кГц, разрешение в спектре $\Delta f = 3,9$ Гц.

Перед и после проведения ударных испытаний проводили относительную калибровку 7-ми измерительных каналов с учетом экспоненциального взвешивания. Измеряли амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) ускоряемости простейшей конструкции - свободно подвешенного калибровочного блока известной массы. Резонансная частота вибропреобразователя AP-40 закрепленного на шпильке и с помощью метилцианакрилатного клея составила 36,5 кГц. В диапазоне частот от 10 Гц до 7 Гц систематическая погрешность измерения АЧХ ускоряемости калибровочного блока не превышала $\begin{matrix} +5\% \\ -2\% \end{matrix}$, оценка среднего значения АЧХ по всем каналам отличалась не более чем на 2%.

Экспоненциальное взвешивание приводит к занижению оценок частотных характеристик и увеличению ширины резонансных пиков с малым затуханием. Проверка необходимости коррекции результатов измерений по методике [13] показала, что в диапазоне частот выше 200 Гц погрешность оценок (1) не превышает 1%, т.е. является несущественной.

Программа проведения ударных испытаний состояла в следующем. Для каждой пары точек на рис. 1 по формуле (1) находили оценки симметричных частотных характеристик

ускоряемости в трех сериях измерений: с минимальными, максимальными и различными значениями амплитуд ударного возбуждения. Разброс значений амплитуд возбуждения в сериях с минимальными и максимальными значениями не превышал 10%. В сериях с различными значениям амплитуд возбуждения распределение значений амплитуд - равномерное.

Минимальное и максимальное значения амплитуды силы удара определили экспериментально, исходя из условия обеспечения достоверности оценок АЧХ (1) для всех пар точек и не повреждения элементов статора. Минимальные значения амплитуды составили порядка 300 Н, максимальные лежали в диапазоне от 1,2 до 5 кН.

Контроль правильности измерений является обязательным этапом экспериментального определения частотных характеристик объекта. Он включает в себя контроль параметров функции когерентности, контроль линейности системы и контроль выполнения принципа взаимности; позволяет контролировать зависимость получаемых результатов от квалификации оператора, а также выявлять нелинейное поведение системы.

Оценка функция когерентности сигнала реакции и силы, рассчитывалась по формуле [13]

$$\hat{\gamma}^2(f) = \frac{|\hat{G}_{FX}(f)|^2}{\hat{G}_{FF}(f) \cdot \hat{G}_{XX}(f)}, \quad (6)$$

Где

$$\hat{G}_{XX}(f) = \frac{1}{n_d} \sum_{i=1}^{n_d} \hat{X}_i(f) \cdot \hat{X}_i^*(f), \quad (7)$$

- оценка усредненного собственного спектра сигнала реакции; $\hat{G}_{FX}(f)$ - оценка усредненного взаимного спектра сигнала силы и реакции, рассчитываемая по формуле (2); $\hat{G}_{FF}(f)$ - оценка усредненного собственного спектр сигнала силы, рассчитываемая по формуле (3).

Функция когерентности (6) показывает степень линейной зависимости между сигналом реакции и силы для каждой частоты и принимает значения в интервале [0; 1].

Примеры оценок АЧХ и функции когерентности, полученные усреднением данных в частотной области по числу реализаций $n_d > 3$ с максимальными значениями амплитуд возбуждения, представлены на рис. 3,...6. Здесь также представлены кривые разности оценок

$$\Delta \hat{H}_{i,j}(f) = \left| \hat{H}_{i,j}(f) \right|_{F_{a,max}} - \left| \hat{H}_{i,j}(f) \right|_{F_{a,min}}, \quad (8)$$

где $\left| \hat{H}_{i,j}(f) \right|_{F_{a,max}}$ и $\left| \hat{H}_{i,j}(f) \right|_{F_{a,min}}$ - оценки АЧХ, полученные при максимальных и минимальных значениях амплитуды F_a возбуждения соответственно.

Анализ графиков АЧХ на рис. 3,...6 показывает, что конструкция статора ведет себя как система с распределенными параметрами, и характеризуется большим числом резонансных и антирезонансных частот. Максимумы АЧХ на резонансных частотах совпадают с максимумами функции когерентности, а минимумы АЧХ на антирезонансных частотах совпадают с минимумами функции когерентности, что говорит о линейных свойствах системы. Низкие значения функции когерентности на антирезонансных частотах

тах вызваны недостаточным отношением сигнал/шум в сигнале реакции. С увеличением числа усреднений n_d достоверность определения оценок АЧХ и функции когерентности, в том числе на антирезонансных частотах, увеличивается. При большом отношении сигнал/шум хорошее качество оценок достигается при усреднении данных в частотной области по 3-5 ударам.

Анализ сигналов ударных сил показывает, что верхняя частота рабочего диапазона возбуждения, определяемая по уменьшению уровня усредненного спектра силы (3) на 20 дБ, зависит от многих факторов, в том числе от эффективной жесткости и эффективной массы конструкции в точке удара. С увеличением силы удара от 0,3 до 5 кН значение верхней частоты возбуждения, увеличивается, а значение нижней частоты достоверной оценки функции когерентности (6) уменьшается. Так, при возбуждении зубца сердечника (точки 6, 7) верхняя частота сигнала ударной силы увеличивается с 5 до 8 кГц, текстолитового вкладыша кронштейна крепления лобовых дуг (точки 8,...11) - с 3 до 5 кГц, внутренних металлических конструкций статора (точки 12, 13, 14) - с 6 до 10 кГц, обшивки корпуса статора (точки 1,...5) - с 8 до 11 кГц. При этом отношение сигнал/шум в сигнале реакции, а также на антирезонансных частотах системы растет, оценки АЧХ и функции когерентности определяются более точно.

Контроль правильности измерений проводили в полосе частот достоверного определения оценок симметричных АЧХ. Верхняя частота этого диапазона $f_g = 5\text{кГц}$ (рис. 3,...6). Нижнюю частоту f_n определяли по функции когерентности. При амплитудах ударного возбуждения от 0,3 до 5 кН достоверные оценки АЧХ между зубцом сердечника и обшивкой корпуса лежат выше 500 Гц (рис. 3), между крайним пакетом зубца сердечника и обшивкой корпуса - выше 1 кГц (рис. 4), между торцевой зоной сердечника и обшивкой корпуса - выше 500 Гц (рис. 5), между спинкой сердечника и обшивкой корпуса - выше 200 Гц (рис. 6).

Объясняется это недостаточным отношением сигнал/шум в сигналах реакции на низких и средних частотах из-за большой (сотни тонн) массы статора. На этих частотах оценки АЧХ и функции когерентности являются малыми величинами, определяемыми с большой погрешностью.

Контроль линейности системы заключался в сравнении АЧХ $|\hat{H}_{i,j}(f)|$, определенных в сериях с минимальными и максимальными значениями амплитуды возбуждения. Идентичность оценок в этих сериях видна по кривым 1 на рис. 3,...6. Количественно идентичность АЧХ оценивали с помощью меры сходства (нормированный коэффициент корреляции) [16]

$$R_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m |\hat{H}_{i,j}(f_k)|_{F_{\sigma,\max}} \cdot |\hat{H}_{i,j}(f_k)|_{F_{\sigma,\min}}}{\left[\sum_{k=1}^m |\hat{H}_{i,j}(f_k)|_{F_{\sigma,\max}}^2 \sum_{k=1}^m |\hat{H}_{i,j}(f_k)|_{F_{\sigma,\min}}^2 \right]^{1/2}}, \quad (9)$$

где

$$f_k = f_n + (k-1)\Delta f, \quad k = 1, \dots, m, \quad f_g = f_n + (m-1)\Delta f, \quad (10)$$

где f_n - нижняя частота функции когерентности (6), определяемая по условию выполнения неравенства $\hat{\gamma}^2(f) \geq 0,95$, f_g - верхняя частота частотного диапазона возбуждения, определяемая по уменьшению уровня усредненного спектра сигнала силы (3) на 20 дБ, Δf - разрешение по частоте. Параметр (9) принимает значения в интервале [0; 1].

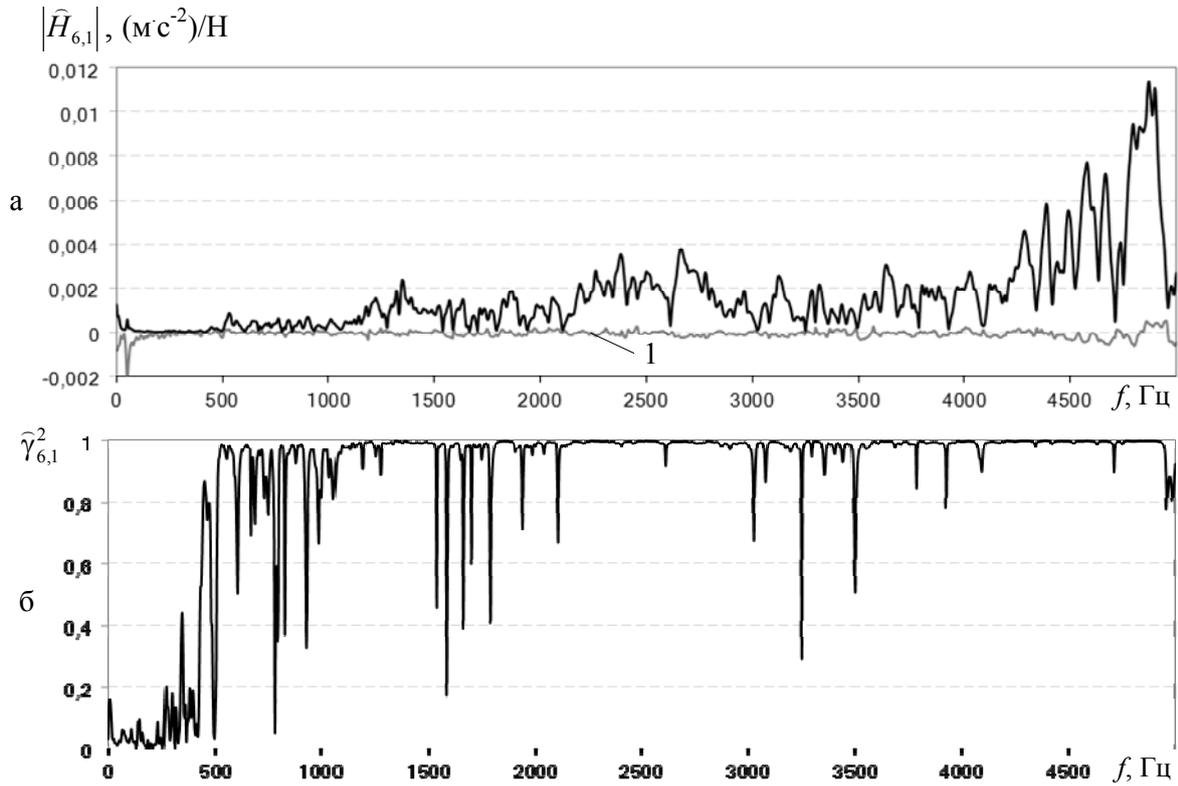


Рис. 3. Оценка АЧХ ускоряемости (а) и функции когерентности (б) между обшивкой корпуса статора и зубцом сердечника (рис. 1). Здесь 1- $\Delta \hat{H}_{6,1}(f)$

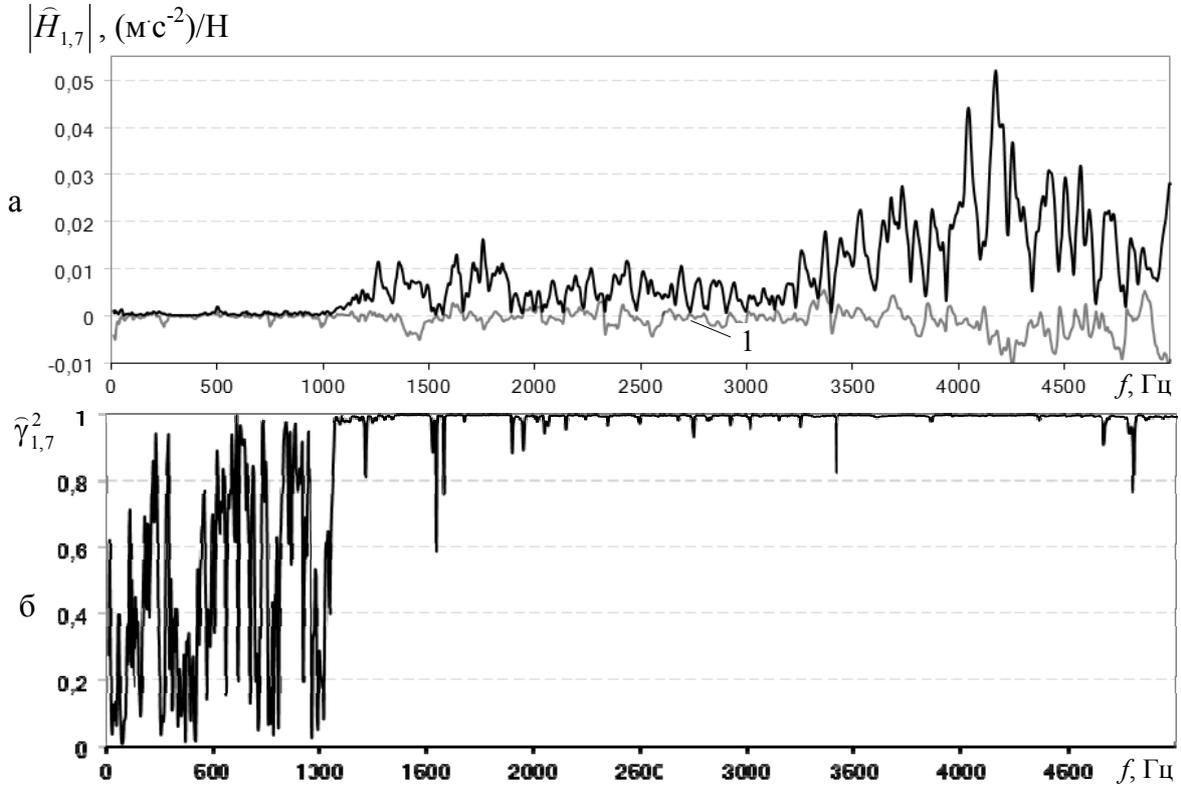


Рис. 4. Оценка АЧХ ускоряемости (а) и функции когерентности (б) между крайним пакетом зубца сердечника и обшивкой корпуса статора (рис. 1). Здесь 1- $\Delta \hat{H}_{1,7}(f)$

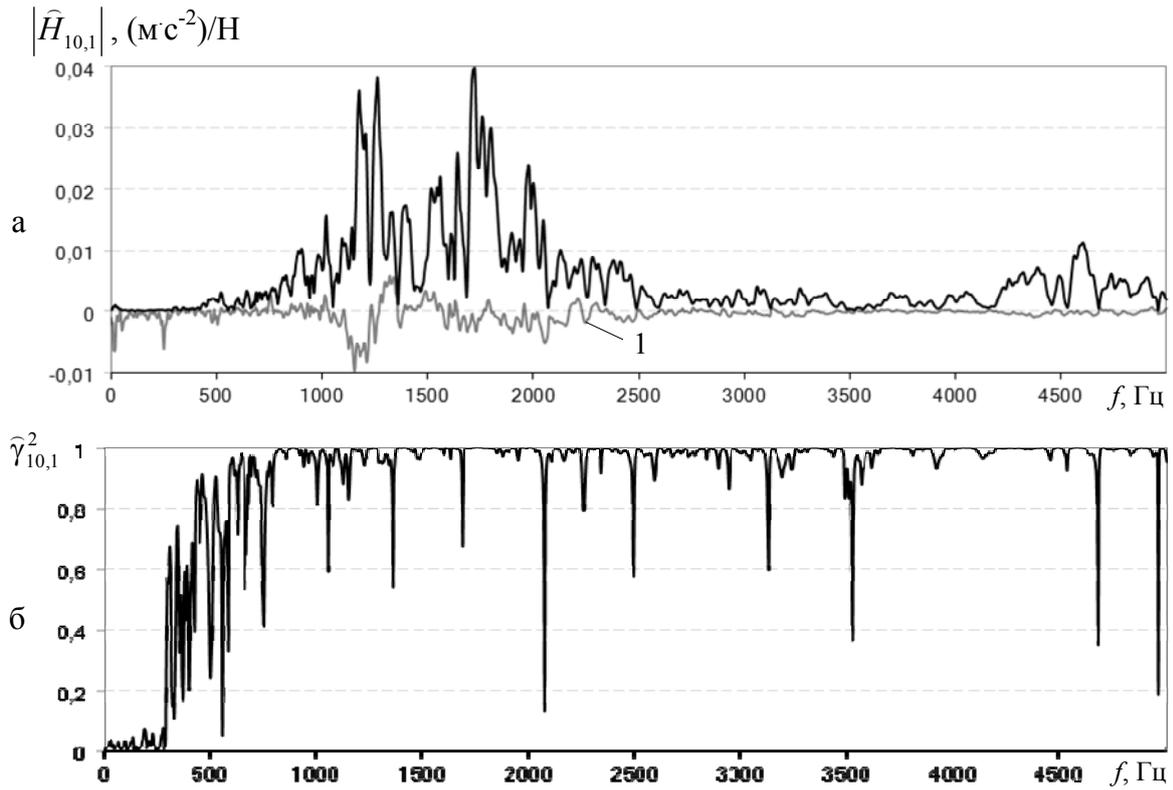


Рис. 5. Оценка АЧХ ускоряемости (а) и функции когерентности (б) между обшивкой корпуса статора и вкладышем кронштейна лобовых дуг (рис. 1). Здесь: 1 - $\Delta \hat{H}_{10,1}(f)$

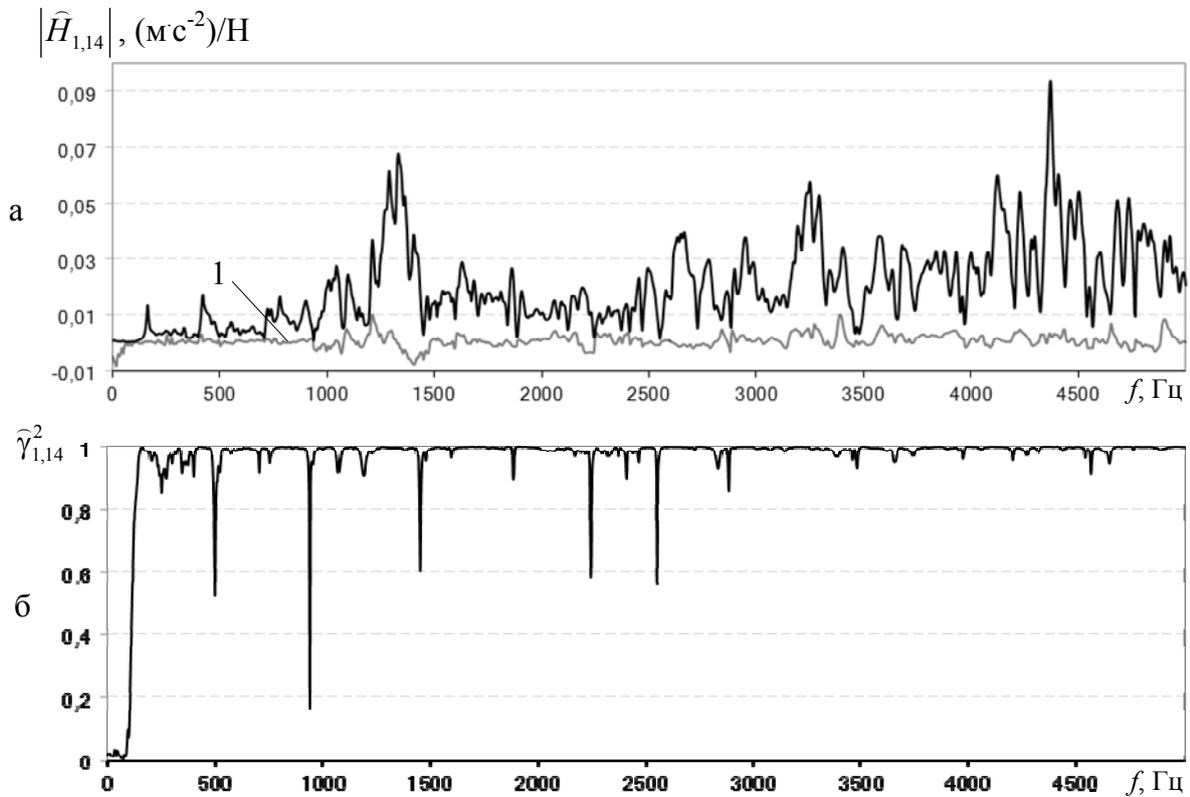


Рис. 6. Оценка АЧХ ускоряемости (а) и функции когерентности (б) между цельной частью стяжного ребра и обшивкой корпуса статора (рис. 1). Здесь: 1 - $\Delta \hat{H}_{1,14}(f)$

Высокие значения меры сходства $R_{ij} > 0,95$ получены для большинства оценок АЧХ, что говорит о линейных свойствах конструкции статора. Исключение составляли оценки $|\hat{H}_{1,11}|$, для которых $R_{1,11} = 0,91 \pm 0,03$. Однако, мера сходства симметричной оценки $|\hat{H}_{11,1}|$ близка к максимуму $R_{1,1} = 0,98$, что говорит о более высоком качестве проведения измерений в последнем случае.

Контроль выполнения принципа взаимности заключался в сравнении симметричных оценок АЧХ $|\hat{H}_{i,j}(f)|$ и $|\hat{H}_{j,i}(f)|$, полученных усреднением данных в частотной области по числу реализаций $n_d \geq 30$ в сериях с различными значениями амплитуды возбуждения. Для всех пар точек (рис. 1) мера сходства симметричных оценок принимает достоверные значения в интервале $[0,85; 0,95]$, что несколько хуже, чем при контроле линейности системы. Объясняется это дополнительными систематическими ошибками измерений: несовпадение точек нанесения и измерения реакции; несовпадение направлений ударного возбуждения и измерения реакции. Вместе с тем, полученные значения параметра контроля взаимности являются удовлетворительными, что по ГОСТ ИСО 7626-5-99 [13] является дополнительным подтверждением линейности системы и правильности проведения измерений.

Результаты контроля правильности измерений типичны для всех 4-х участвовавших в испытаниях статоров турбогенераторов типа ТВВ-320-2. Объясняется это тем, что при ударном возбуждении освобожденных из закрепления элементов статора они совершают свободные затухающие колебания в пределах зазоров. Спектр таких колебаний содержит гармоники на частотах свободных колебаний. Наиболее интенсивные гармоники сосредоточены в низкочастотной части спектра до 300 Гц. Однако, оценки передаточных АЧХ в этой полосе частот малы (см. рис. 3,...6), определяются с большой погрешностью и поэтому в расчете параметров контроля правильности измерений не участвуют.

Нелинейное поведение конструкции статора в среднечастотном и высокочастотном диапазонах обнаруживается по незначительному смещению частот небольшого числа резонансных максимумов, зависящему от амплитуды возбуждения. При этом на остальных частотах конструкция статора продолжает проявлять линейные свойства. Усреднение данных в частотной области по числу реализаций $n_d \geq 30$, полученных для различных значений амплитуды возбуждения, позволяет получить линейную аппроксимацию АЧХ конструкции статора.

Рассмотрим достоверные оценки передаточных и точечных АЧХ ускоряемости конструкции статора одного из 4-х турбогенераторов типа ТВВ-320-2 в максимально широкой полосе частот до 8кГц, представленные на рис. 7 и 8.

Динамическая податливость конструкции от крайних пакетов сердечника и вкладыша кронштейнов крепления корзинки лобовых частей обмотки до обшивки корпуса статора локализована в разных частотных диапазонах (рис. 7 а, б), а от нажимной плиты и стяжных ребер сердечника до обшивки корпуса статора повышена на частотах выше 1 кГц (рис. 7 в, г). Следовательно, выделить частотные диапазоны, в которых обнаруживается только один дефект, невозможно. В спектре виброускорения обшивки корпуса статора работающего генератора необходимо проводить распознавание как простых, так сложных неисправностей (одновременное присутствие более одного дефекта).

Максимальные значения АЧХ на рис. 7 соизмеримы между собой. Поэтому при идентичных параметрах широкополосного ударного возбуждения в разных узлах креплений все они, кроме трещины в корпусе статора, имеют практически одинаковую обнаружительную способность в спектре виброускорения обшивки корпуса статора работающего генератора. Лучше всего обнаруживаются трещины в корпусе статора, так как динамическая податливость корпуса (рис. 7 г) в полосе от 4 до 5 кГц в несколько раз выше, чем от других элементов статора. Объясняется это резонансными свойствами поперечной стенки корпуса и максимальной близостью к точке измерения реакции.

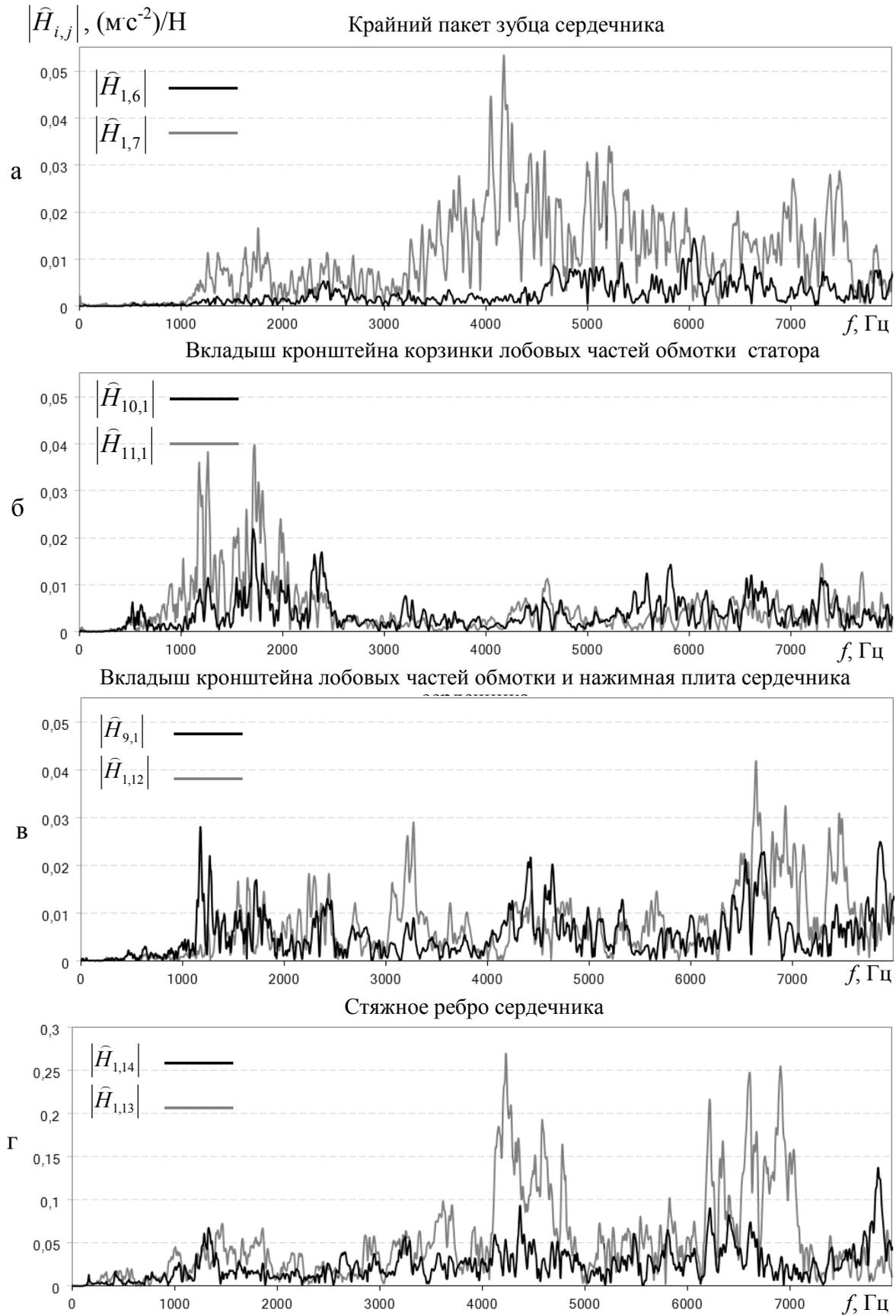


Рис. 7. Оценки передаточных АЧХ ускоряемости конструкции статора турбогенератора ТВВ-320-2 между его элементами и обшивкой корпуса (рис. 1)

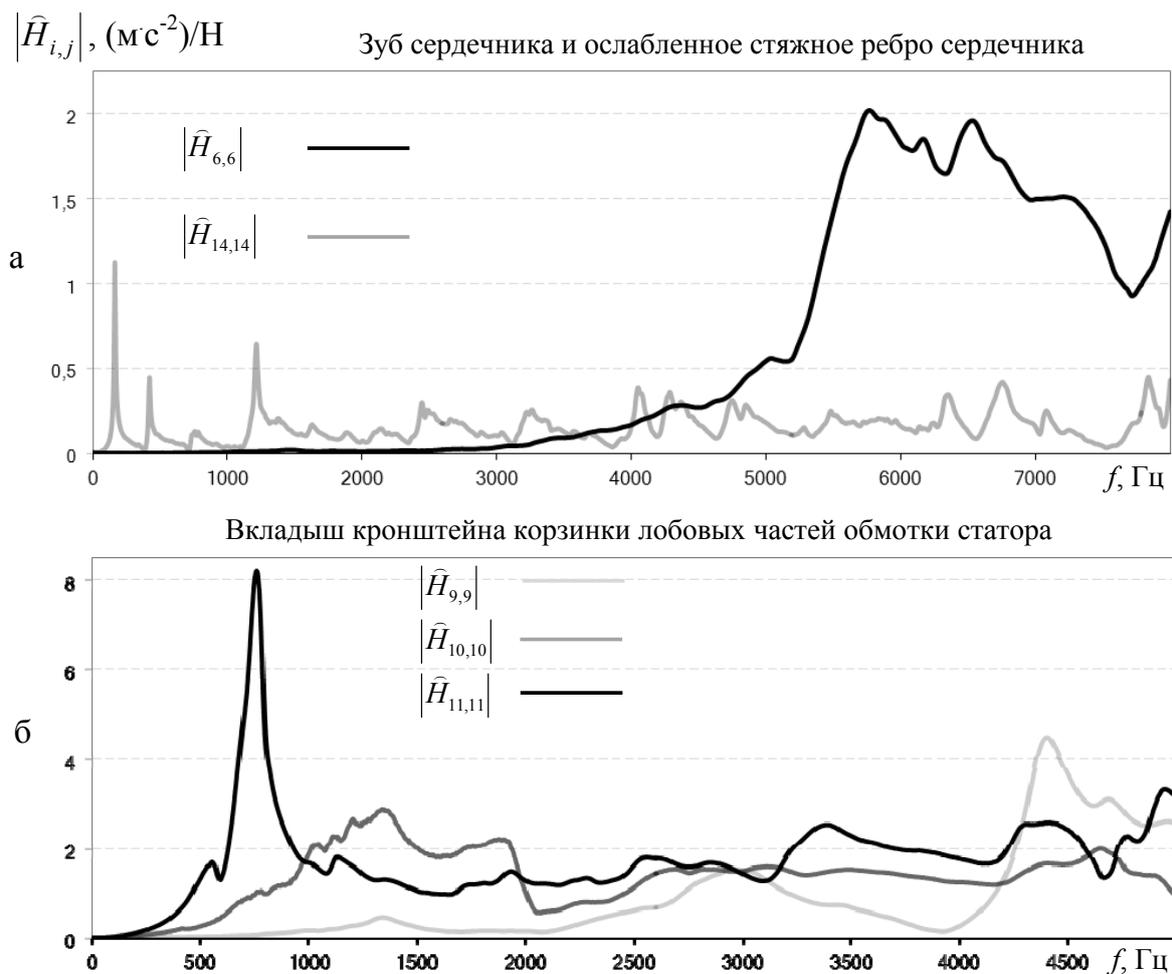


Рис. 8. Оценки точечных АЧХ ускоряемости элементов конструкции статора турбогенератора ТВВ-320-2 (рис. 1)

Сравнительный анализ оценок АЧХ конструкций статоров 4-х турбогенераторов типа ТВВ-320-2 позволил установить следующие закономерности:

1. Между зубцом сердечника и обшивкой корпуса (точками 6x и 1x) конструкции являются динамически жесткими на частотах до 1 кГц и динамически податливыми на частотах от 4,5 до 7 кГц. По этому признаку оценка $|\hat{H}_{1,6}|$ на рис. 7 а является типичной для всех статоров. Динамическая жесткость на низких частотах вызвана огромной (сотни тонн) массой статора, а динамическая податливость обусловлена резонансными свойствами сердечника. Оценка точечной АЧХ зубца сердечника $|\hat{H}_{6,6}|$ на рис. 8 а это подтверждает.

2. Между крайним пакетом зубца сердечника и обшивкой корпуса (точками 7x и 1x) конструкции являются динамически жесткими на частотах до 1 кГц и динамически податливыми на частотах от 3,5 до 6 кГц. По этому признаку представленная на рис. 7 а оценка АЧХ $|\hat{H}_{1,7}|$ является типичной для всех статоров.

3. Между вкладышем кронштейна крепления корзинки лобовых частей обмотки и обшивкой корпуса (точкам 9y, 10x, 11z и 1x) конструкции являются динамически жесткими

на частотах до 500 Гц и динамически податливыми на частотах от 500 Гц до 3 кГц. По этому признаку представленные на рис. 7 б, в оценки АЧХ $|\hat{H}_{9,1}|$, $|\hat{H}_{10,1}|$, $|\hat{H}_{11,1}|$ являются типичными. Максимальные оценки АЧХ сосредоточены в области резонансных частот корзины лобовых частей обмотки. Оценки точечных АЧХ $|\hat{H}_{9,9}|$, $|\hat{H}_{10,10}|$, $|\hat{H}_{11,11}|$ на рис. 8 б это подтверждают.

Появление локального дефекта ослабления креплений корзины лобовых частей обмотки оказывает незначительное влияние на изменение диапазона динамической податливости. Объясняется это большим (избыточным) числом связей, находящихся в хорошем состоянии.

4. Между нажимной плитой сердечника и обшивкой корпуса (точками 12у и 1х) конструкции являются динамически жесткими на частотах до 1 кГц и динамически податливыми на частотах выше 1кГц. По этому признаку представленная на рис. 7 в оценка $|\hat{H}_{1,12}|$ является типичной для всех статоров.

5. Подвижность конструкций между стяжным ребром и обшивкой корпуса (точками 14х и 1х) зависит от качества закрепления стяжного ребра в пазу сердечника (приварено частично или полностью, величины и длины зазоров и т.д.). Чем ниже основная частота свободных колебаний стяжного ребра (на рис. 8 а она равна 164 Гц), тем больше динамическая податливость между стяжным ребром и обшивкой корпуса на низких и средних частотах. На частотах выше 1 кГц динамическая податливость между стяжным ребром и обшивкой корпуса практически не зависит от качества закрепления стяжного ребра. По этому признаку оценка $|\hat{H}_{1,14}|$ на рис. 7 г является типичной.

6. Между несущей поперечной стенкой и обшивкой корпуса (точками 14х и 1х) конструкции являются динамически жесткими на частотах до 200 Гц и динамически податливыми на частотах выше 200 Гц. По этому признаку представленная на рис. 7 г, в оценка $|\hat{H}_{1,13}|$ является типичной. Близость расположения точек возбуждения и измерения реакции обуславливает максимальный уровень оценок $|\hat{H}_{1,13}|$ по сравнению с другими оценками статора.

С удалением от точки возбуждения вид оценок АЧХ сохраняется, но отношение сигнал/шум в сигналах реакции на обшивке корпуса статора, а, значит, и обнаружительная способность дефектов уменьшаются. Оценим затухание сигнала реакции по длине и окружности корпуса статора путем сравнения среднеквадратических значений (СКЗ) сигналов реакций в точках 1,2...5 (см. рис. 1) при возбуждении конструкции одинаковой ударной силой

$$F_j(t) = P\delta(t), \quad (11)$$

где P - мгновенный ударный импульс, $\delta(t)$ - дельта-функция Дирака. Сигнал реакции в точке i рассчитываем по формуле

$$|\hat{X}_i(f)| = |\hat{H}_{i,j}(f)| \cdot |F_j(f)|. \quad (12)$$

где $F_j(f)$ - комплексный спектр сигнала ударной силы (11).

Тогда СКЗ сигнала реакции

$$\sigma_{i,j} = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_{k=1}^m \hat{X}_i^2(f_k)} = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_{k=1}^m \hat{H}_{i,j}^2(f_k) F_j^2(f_k)}. \quad (13)$$

Значения частотных компонент комплексного спектра сигнала ударного возбуждения (11) конечной длительности T равны [14]

$$F_j(f_k) = \frac{2P}{T}. \quad (14)$$

Для упрощения расчетов положим $\frac{2P}{T} = 1$ Н. Тогда выражение (13) принимает вид

$$\sigma_{i,j} = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_{k=1}^m \hat{H}_{i,j}^2(f_k)}. \quad (15)$$

Из (15) следует, параметр $\sigma_{i,j}$ характеризует интегральную механическую подвижность (ускоряемость) конструкции статора между точкой возбуждения и измерения реакции.

Разброс значений параметров $\sigma_{i,j}$ 4-х статоров турбогенераторов, участвовавших в испытаниях, оценим по формуле

$$\delta\sigma_{i,j} = \frac{\max(\sigma_{i,j})}{\min(\sigma_{i,j})}. \quad (16)$$

Коэффициент уменьшения СКЗ сигнала реакции в точках i ($i = 1, 2, \dots, 5$) обшивки корпуса по отношению к СКЗ сигнала реакции в точке 1, расположенной на минимальном расстоянии от мест возникновения дефектов, рассчитываем по формуле

$$\alpha_i = \frac{\sigma_{1,j}}{\sigma_{i,j}}. \quad (17)$$

В табл. 1 представлены результаты расчета параметров $\sigma_{i,j}$ и α_i для статора турбогенератора ТВВ-320-2, оценки АЧХ которого представлены на рис. 7, 8, и параметра $\delta\sigma_{i,j}$. Расчет выполнен по формулам (15), (16), (17) с точностью до двух значащих цифр. У рассматриваемого статора значения параметров $\sigma_{1x,7y}$, $\sigma_{1x,9y}$, $\sigma_{1x,10x}$, $\sigma_{1x,13x}$ и $\alpha_{2x,j} \dots \alpha_{5x,j}$ максимальные среди 4-х статоров, входивших в группу ударных испытаний. Он обладает повышенной динамической податливостью, и у него наиболее сильно выражены свойства затухания сигнала реакции на обшивке корпуса статора.

Результаты расчета параметров $\sigma_{i,j}$, $\delta\sigma_{i,j}$, α_i в диапазоне частот от 200 Гц до 5 кГц (рис. 1)

Элементы статора	Точка удара, j	Точка измерения реакции на обшивке корпуса, i					
		$\sigma_{i,j}$	$\delta\sigma_{i,j}$	α_i			
		1x	1x	2x	3x	4x	5x
Крайний пакет зубца сердечника	6x	0,06	< 2	2,2	1,4	1,6	3,0
	7y	0,32	< 0,3	2,4	2,6	1,3	1,8
Корзинка лобовых частей обмотки	9y	0,17	< 2	4,1	2,9	1,2	2,0
	10x	0,22		5,2	3,1	1,3	1,6
	11z	0,12		4,3	2,9	1,3	1,9
	12y	0,19	< 0,1	2,9	2,4	1,3	1,6
Подвеска сердечника	13x	1,62	< 0,1	4,8	2,7	1,7	2,0
	14x	0,63	< 2	4,1	2,3	1,4	1,6

Анализ данных табл. 1 показывает, что в диапазоне частот от 200 Гц до 5 кГц интегральная подвижность конструкции $\sigma_{1x,j}$ максимальна от корпуса и узлов крепления сердечника до обшивки корпуса статора. От стяжных ребер сердечника значение $\sigma_{1x,14x}$, всего в 2 и 3 раза больше, чем от крайних пакетов $\sigma_{1x,7y}$ и лобовых частей обмотки статора $\sigma_{1x,10x}$ соответственно. При широкополосном ударном возбуждении обнаружительная способность дефектов по параметру интегральной подвижности отличается не более чем в 30 раз.

Разброс значений интегральной подвижности $\delta\sigma_{1,j}$ 4-х статоров не превышает 2 раз. Следовательно, в диапазоне частот измерения частотных характеристик от 200 Гц до 5 кГц интегральная механическая подвижность конструкции статора слабо зависит от технического состояния узлов креплений.

С удалением от точки ударного возбуждения СКЗ сигнала реакции уменьшается. Причем по окружности корпуса затухание больше, чем по образующей корпуса статора. Полагая закон затухания сигнала между точками на обшивке корпуса статора линейным, получаем, что достаточно установить по 4-е датчика (рис. 1) в каждой из торцевых зон статора (со стороны турбины и со стороны возбудителя), чтобы ослабление СКЗ сигнала реакции до каждого из них не превышало 5 дБ. При этом затухание сигнала реакции можно использовать для локации местонахождения дефектов с точность до сектора окружности статора с центральным углом в 90 град.

Результаты сравнительного анализа оценок АЧХ 4-х статоров турбогенераторов типа ТВВ-320-2 и расчета интегральных параметров механической подвижности позволяют сделать следующий общий вывод: для решения задач виброакустической диагностики оценки АЧХ ускоряемости конструкции статора могут быть определены экспериментально на одном турбогенераторе каждого типа. Имеющиеся различия не являются существенными по двум причинам:

- во-первых, имитационное моделирование реакций конструкции статора на известные динамические воздействия в дефектных узлах креплений по формуле (12) дает достаточную точность для ответа на вопрос о возможности обнаружения спектральных состав-

ляющих сигнала реакции в спектре виброускорения обшивки корпуса статора работающего турбогенератора;

- во-вторых, значения АЧХ статора зависят от расстояния между точками возбуждения и измерения реакций (см. табл. 1). На работающем генераторе это расстояние заранее неизвестно. Заниженные оценки АЧХ можно рассматривать как оценки, полученные на несколько большем расстоянии между точками возбуждения и измерения реакции.

3. Диагностика роторов

В роторах турбогенераторов ГЭС и АЭС и гидроагрегатов ГЭС в процессе эксплуатации в качестве опасных повреждений обычно выступают макротрещины по критическим сечениям роторов [1, 2] – в зонах концентрации напряжений (выточки, сварные швы, зоны контактных взаимодействий).

Недостатками общепринятых методов диагностики роторов с трещинами (магнитного, ультразвукового, рентгеновского) является необходимость остановки турбомашин, вскрытия и длительной подготовки к испытаниям. В этой связи развитие получили вибродиагностические методы с оценкой частот резонансных колебаний (на соответствующих формах), измеряемой не менее чем при двух положениях ротора (с его поворотом).

Развитие трещин в опасном поперечном сечении ротора по данным расчетов и экспериментов [1] (рис. 9) приводит к экспоненциальному увеличению его податливости ($\Delta\varphi$).

$$\Delta\varphi = (1 - \mu^2) F(\bar{\ell}) \frac{M_n}{EW}; \quad \bar{\ell} = \ell/R \quad (18)$$

где M_n – изгибающий момент; W – момент сопротивления в сечении с трещиной; μ – коэффициент Пуассона; E – модуль упругости.

Увеличение $\Delta\varphi$ и $F(\bar{\ell})$ приводит к уменьшению собственных частот f .

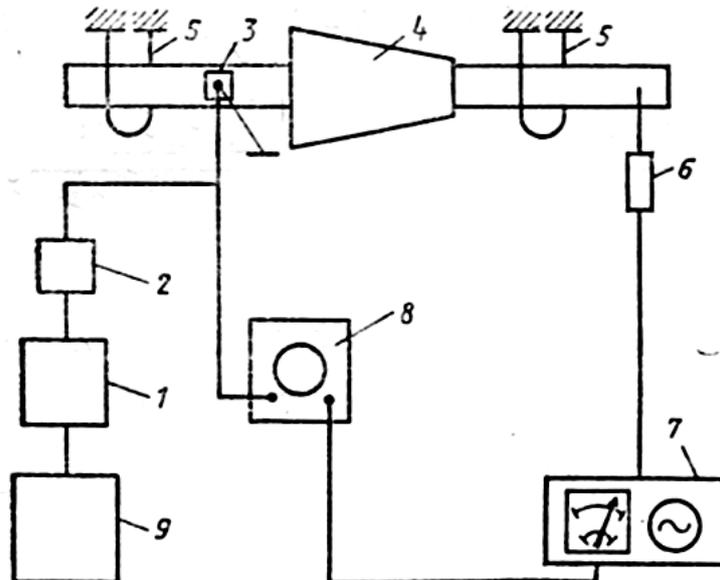


Рис. 9. Измерительная схема для вибродиагностики трещин в роторе:

1 – генератор звуковых частот; 2 – усилитель; 3 – вибратор; 4 – ротор; 5 – подвески; 6 – вибропреобразователь; 7 – виброметр; 8 – электронный осциллограф; 9 – частотомер

Экспериментальная проверка этой зависимости проводилась по следующей методике.

Ротор свободно подвешивался на опорах [1] (рис. 10). Колебания ротора возбуждались в горизонтальной плоскости с помощью вибратора на одном конце ротора, получавшего усиленный сигнал от генератора звуковых частот.

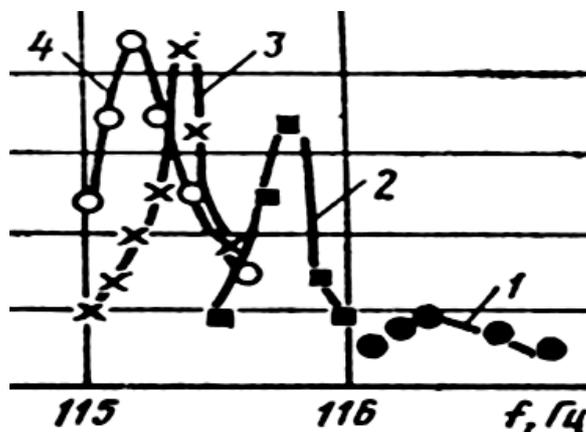


Рис. 10. Резонансные кривые зависимости амплитуды колебаний ротора от частоты на первой собственной форме колебаний:

1 – для исходного состояния ротора (без надрезов); 2–4 – для ротора с надрезами возрастающей глубины в I сечении с осевой координатой $x=3370$ мм по рис. 2

Визуальная настройка на достижение резонанса [1] осуществлялась с помощью осциллографа, а измерение - частотомером. Зависимость амплитуд A от частот f получали по серии измерений вибрационного состояния ротора с различными параметрами надреза с плоским основанием, имитировавшего трещины (глубиной 0; 22; 26; 37 мм) с наружной поверхности вала в сечении I (см. рис. 2) на расстоянии 3370 мм от переднего конца ротора.

Результаты экспериментов показали, что при переходе от бездефектного ротора (кривая 1 на рис. 10) наблюдается снижение (кривые 2 - 4) резонансной частоты от 116,35 до 115,2 Гц при росте амплитуд от 0,4 до 1,64 м/с².

На второй форме колебаний изменение частот и амплитуд было меньше (в 1,5 раза). Результаты исследования смещения спектров частот для первой и второй форм приведены в табл. 2.

Таблица 2

Глубина надреза, мм	Относительная площадь надреза, %	Частота на первой форме	Отношение частот	Отношение амплитуд	Частота на второй форме	Отношение частот	Отношение амплитуд
0	0,00	116,35	1,000	1,00	178,85	1,000	1,00
22	2,35	115,95	0,996	3,37	178,40	0,997	2,85
26	3,04	115,40	0,991	4,15	177,40	0,994	2,84
37	5,30	115,20	0,990	4,45	176,95	0,989	2,66

Если учесть, что крупные аварии и катастрофы на упомянутых выше турбогенераторах и гидрогенераторах сопровождались развитием трещин в роторах от 2 – 5% до 70 – 80% поперечного сечения или относительной глубины трещин $\bar{\ell}$ с изменением их жесткости в десятки и сотни раз [1], то собственные частоты на первой форме колебаний могли изменяться в разы, а амплитуды – в десятки раз. В соответствии с действующими нормами контроля вибраций роторов недопустимым считается рост амплитуд в $2 \div 3$ раза, когда требуется остановка эксплуатации.

Недостатком малого однопараметрического контроля по амплитудам является то, что на заключительных стадиях рост трещин до критического состояния идет чрезвычайно быстро (по степенному закону) и время на принятие решений и включение систем автоматизированной аварийной защиты может измеряться минутами. Сказанное потребовало применения новых подходов к технической диагностике турбомашин, основанной на комплексном анализе спектров вибраций [18, 19]. Такие подходы развивались для турбо-насосных агрегатов ракетно-космической системы «Энергия-Буран» [20].

4. Оценка возможности обнаружения дефектов статора и ротора

Приведенные выше данные позволяют оценить возможность обнаружения в спектре виброускорения обшивки корпуса статора работающего турбогенератора типа ТВВ-320-2 гармоник сигнала реакции от мгновенного соударения элементов в ослабленных узлах креплений с силой $F_j(t)$ (11). В этом случае $|F_j(f_k)|$ – константа и, согласно формуле (11), оценки частотных характеристик статора (рис. 7) представляют собой в некотором масштабе оценки амплитудных спектров сигналов реакции (виброускорения) обшивки корпуса статора.

Порог обнаружения $A_n(f)$ гармоник сигнала реакции в амплитудном спектре $A(f)$ виброускорения обшивки корпуса исправного статора работающего турбогенератора определим из отношения сигнал/шум

$$\left(\frac{A_n(f)}{A_u(f)} \right)^2 \geq 10, \quad (19)$$

где $A_u^2(f)$ – мощность шума в полосе частот $f \pm \Delta f / 2$, где Δf – разрешение в дискретном спектре по частоте. Для исправного турбогенератора типа ТВВ-320-2 при $\Delta f \cong 1$ Гц минимальное значение порога обнаружения $A_n(f) = 0,03$ м/с².

Анализ спектров на рис. 7 показывает, что при соударениях элементов в ослабленных узлах креплений с силой $|F_j(f_k)| \geq 2$ Н максимальные значения гармоник сигнала реакции в амплитудном спектре $A(f)$ виброускорения обшивки корпуса статора работающего генератора превышают пороговый уровень (19) и, следовательно, могут быть обнаружены.

Такое имитационное моделирование реакций статора обладает рядом недостатков. Во-первых, значения силы P в формуле (11) задаются произвольным образом, а не определяются в процессе решения задачи о соударении элементов в ослабленных узлах креплений. Во-вторых, модель мгновенной силы удара (11) далека от действительности, так как соударение элементов происходит за конечный промежуток времени.

Кроме того, максимальные значения оценок АЧХ (см. рис. 7) в некоторых диапазонах частот отличаются в десятки и сотни раз, а в некоторых незначительно. Поэтому одних оценок АЧХ для ответа на вопрос о возможности обнаружения дефектов статора по

спектру виброускорения обшивки его корпуса недостаточно. Необходим расчет спектров сигналов динамических сил, действующих в дефектных узлах крепления и возбуждающих виброакустические колебания конструкции статора. Для этого нужны структурные динамические модели дефектов статора, в которых процесс соударения элементов в дефектных узлах креплений должен быть описан с учетом местных и общих деформаций.

Для ротора при динамических испытаниях АЧХ в соответствии с табл. 2 возможности обнаружения дефектов с площадью 2-3% от сечения связываются в первую очередь с анализом роста амплитуд вибраций в 3-4 раза для первой частоты и в 2-2,5 раза для второй частоты. Изменение частот при этом не превышает 0,05-0,1%.

Заключение

1. Динамические свойства конструкции статора в диапазоне частот от 1 до 10 кГц в первом приближении могут быть описаны в рамках линейной модели с помощью линейной аппроксимации оценок частотных характеристик ускоряемости.

Наилучшими по качеству оценками АЧХ ускоряемости статора в максимально широком диапазоне частот возбуждения (до 10 кГц) являются оценки вида $|\hat{H}_{i,1}|$, полученные усреднением данных в частотной области по числу реализаций $n_d \geq 3$ с максимальными амплитудами возбуждения.

Сложность выделения спектральных полос, присущих только одному дефекту, делает необходимым распознавание простых и сложных неисправностей (одновременное присутствие более одного дефекта) в спектре виброускорения обшивки корпуса статора работающего генератора.

Затухание сигнала реакции по длине и окружности корпуса статора можно использовать для локализации местонахождения дефекта с точностью до сектора окружности статора с центральным углом в 90 град. Для этого достаточно установить по 4-е датчика в каждой из торцевых зон статора.

Для решения задач виброакустической диагностики статоров турбогенераторов формализованным методом оценки АЧХ конструкций статоров могут быть получены на одном турбогенераторе каждого типа.

Для оценки возможности обнаружения дефектов статора по спектру виброускорения обшивки корпуса статора работающего турбогенератора необходимы оценки АЧХ статора и данные о спектрах сигналов динамических сил, возбуждающих виброакустические колебания статора.

2. Диагностика и мониторинг состояний роторов турбомашин в процессе эксплуатации наиболее полными оказываются при получении информации о динамике спектров вибраций преимущественно на первых формах колебаний в процессе испытаний или эксплуатации. Для начальных стадий повреждения роторов трещинами можно использовать амплитудный анализ вибраций. Для заключительных опасных состояний с ускоренным переходом к авариям и катастрофам наиболее информативным оказывается одновременный контроль амплитуд и частот вибраций. Роль спектрального анализа возрастает при увеличении эксплуатационной нагруженности турбоагрегатов и сокращении времени развития аварийных и катастрофических состояний.

Литература

1. Фролов К.В., Израилев Ю.Л., Махутов Н.А. и др. Расчет термонапряжений и прочности роторов и корпусов турбин. – М.: Машиностроение. - 1988. – 239 с.
2. Махутов Н.А., Доброхотов В.И. Обеспечение прочности и ресурса крупногабаритных роторов турбин и турбогенераторов. Машиностроение. - 1985, №3, с. 50-55.

3. Разрушение гидроагрегата №2 Саяно-Шушенской ГЭС: причины и уроки. – М.: «Формат-Д», 2013. Сборник материалов. Том 1. – 480 с.; том 2. – 496 с.; том 3. – 408 с.
4. Турбогенераторы. Расчет и конструкция / В.В. Титов, Г.М. Хуторецкий, Г.А. Загородная и др. / под. ред. Н.П. Иванова, Р.А. Лютера. - Л.: Энергия. - 1967. – 895 с.
5. Фридман В.М., Шкода Г.В., Школьник В.Э. Колебания статора турбогенератора, связанные с вращающимся магнитным полем // Сб. Электросила. - 1974. №30. с. 17-21.
6. Инженерные методы исследования ударных процессов / Г.С. Батуев, Ю.В. Голубков, А.К. Ефремов и др. - М.: Машиностроение. - 1977. - 240 с.
7. Цветков В.А. Диагностика мощных генераторов. – М.: НЦ ЭНАС. - 1995. – 235 с.
8. Самородов Ю.Н. Дефекты генераторов. - М.: ЗАО «Энергетические Технологии». - 2005. – 350 с.
9. Назолин А.Л., Поляков В.И. Исследование виброударных режимов движения в системе стержневое ребро-сердечник электрической машины // Электричество. - 2007. №6. с. 26-30.
10. Назолин А.Л. Математическая модель виброударного процесса в крайнем пакете шихтованного сердечника статора электрической машины // Проблемы машиностроения и надежности машин. - 2005. №2. С. 10-17.
11. Назолин А.Л. Динамическая диагностическая модель узла крепления обмотки в пазу сердечника статора мощного турбогенератора // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. № 2. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/310057.html> (дата обращения 18.12.2012).
12. Морозов А.Н., Назолин А.Л. Имитационное моделирование виброакустических колебаний корпуса статора турбогенератора с дефектом ослабления крепления упругой подвески // Нелинейный мир. - 2009. №7. С. 556-562.
13. ГОСТ ИСО 7626-5-99. Вибрация и удар. Экспериментальное определение механической подвижности. Часть 5. Измерения, использующие ударное возбуждение возбудителем, не прикрепленным к конструкции. – М.: Изд-во стандартов. - 2001. – 21 с.
14. ГОСТ Р ИСО 5348-99. Вибрация и удар. Механическое крепление акселерометров. - М.: Изд-во стандартов. - 2000, 19 с.
15. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных / Пер.с англ. - М.: Мир. - 1989. – 540 с.
16. Генкин М.Д., Соколова А.Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов. - М.: Машиностроение. - 1987. – 288 с.
17. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Радио и связь. - 1990. – 512 с.
18. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. – М.: МГОФ «Знание», 1998-2015, т.т. 1-50.
19. Махутов Н.А. Прочность и безопасность. Фундаментальные и прикладные исследования. – Новосибирск. - 2008. – 528 с.
20. Исследования напряжений и прочности ракетных двигателей / Махутов Н.А., Рачук В.С., Гаденин М.М. и др. – М.: Наука. - 2011-2013, т.т.1 – 2.

Сведения об авторах

Махутов Николай Андреевич, - главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова (ИМАШ РАН). E-mail: safety@imash.ru, тел. +7 (499) 135-77-71.

Назолин Андрей Леонидович - старший научный сотрудник научно-исследовательской части научно-учебного комплекса «Фундаментальные науки» в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана». Телефон сот: 8-915-413-08-37, E-mail: nazolin72@mail.ru

УДК 614

**МЕТОД ОБОСНОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ПЛАНА ЛИКВИДАЦИИ
ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНОМ ОБЪЕКТЕ
НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПРОЦЕДУРЫ
МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ**

**Доктор техн. наук В.П. Гаенко
НИЦБТС 12 ЦНИИ Минобороны России**

Предложен эвристический метод обоснования рационального плана для ликвидации последствий аварии на потенциально опасном объекте. Метод основан на модифицированной для анализа и оценки риска процедуре метода анализа иерархий (МАИ).

Ключевые слова: безопасность, метод анализа иерархий, эвристический метод, ликвидация последствий аварии, потенциально опасный объект.

**METHOD SUBSTANTIATION RATIONAL PLAN ELIMINATION
OF CONSEQUENCES OF THE ACCIDENT AT POTENTIALLY HAZARDOUS
OBJECTS USING A MODIFIED PROCEDURE OF HIERARCHY ANALYSIS
METHOD**

**Dr. (Tech.) V.P. Gaenko
Technical Systems Safety Research Center of the 12 Central Scientific-Researches
Institute of the Department of Defense of Russian Federation**

Propose a heuristic method of rational plan for the aftermath of the potentially hazardous objects. The method is based on modified procedure of analysis and risk evaluation method for hierarchy's analysis.

Key words: safety, method of analysis of hierarchies, heuristic method, elimination of consequences of the accident, potentially objects.

Основные положения метода

Процесс планирования ликвидации последствий аварии (ЛПА) на потенциально опасном объекте (ПОО) представляется в виде последовательности следующих этапов.

1) Этап структурирования проблемы (задачи планирования ЛПА).

На этапе определяется цель планирования ЛПА на ПОО, а также ограничения, налагаемые на процесс достижения цели. Задача формулируется таким образом, чтобы были видны пути вмешательства и управления. Основные требования к цели: ее четкая постановка; достижимость; возможность пересмотра при изменении обстоятельств.

Цель процесса планирования заключается в достижении максимальной эффективности при осуществлении плана работ по ЛПА.

В качестве вариантов целей могут рассматриваться:

- достижение максимального предотвращенного ущерба при осуществлении плана работ по ЛПА (для ряда аварий это достигается минимизацией времени ЛПА, например, при ликвидации аварии на железнодорожном транспорте);
- ЛПА с минимальными затратами (последствия аварии стабилизировались, рост ущерба во времени отсутствует).

2) Этап определения перечня альтернатив (привлекаемых средств и сценариев работ).

Формирование перечня альтернатив осуществляется с учетом располагаемых ресурсов и ограничений.

3) Этап осуществления, планирования мероприятий.

На этапе определяется последовательность действий для осуществления плана, оцениваются альтернативы. Последовательность действий (выполнения основных мероприятий по ЛПА) как правило, регламентируется нормативными документами, что необходимо учитывать.

4) Заключительный этап.

Оценка степени достижения цели и выбор наилучшей альтернативы.

Различают прямой, обратный и комбинированный (объединенный) процессы планирования.

Прямой процесс представляет собой упорядоченный во времени процесс (последовательность событий) от текущего (исходного) состояния в последовательности: используемый ресурс (альтернатива) – мероприятия – факторы среды, влияющие на эффективность ЛПА – вероятные исходы. Начальное состояние определяет исходную границу действия плана, при этом рассматриваются текущие факторы и предположения, которые могут приводить к определенным исходам при дальнейшем развитии аварии.

В случае обратного процесса планирования процесс ЛПА рассматривают в обратной последовательности от желаемого исхода к альтернативам. При этом оцениваются влияние факторов среды и мероприятий на эффективность достижения цели.

На практике часто прямой и обратный процессы планирования объединяются. В качестве одного из подходов к объединению прямого и обратного процессов планирования можно рассмотреть подход, ориентированный на использовании при выборе рационального плана ЛПА метода анализа иерархий (МАИ) [1].

МАИ является эвристическим методом. В мировой научной практике МАИ наиболее эффективно зарекомендовавшем себя для решения сложных многокритериальных задач принятия решения.

МАИ является эффективной процедурой для иерархического представления систем, определяющих суть проблем любой природы. Метод состоит в декомпозиции проблемы на все более простые составные части и в дальнейшей обработке суждений экспертов на основании простых (на уровне здравого смысла) парных сравнений атрибутов относительно того или иного критерия (показателя).

На практике эксперту легче упорядочить суждения, например, не определять, с какой вероятностью произойдет опасное событие (реализуется риск) для альтернатив A_1 и A_2 , а определить меру относительного превосходства одной альтернативы над другой по рассматриваемому показателю (например: превосходства нет, альтернативы эквивалентны, превосходство незначительное или абсолютное). Предпочтительности альтернатив в процедуре МАИ устанавливают с помощью матриц парных сравнений, заполняемых *экспертами* на основе использования девятибалльной шкалы относительной важности [1, 2].

Поскольку количество суждений с понижением уровня иерархии растет по схеме цепной реакции, то человек не способен логически обработать и упорядочить эти суждения. Математический аппарат МАИ позволяет логически упорядочить эти суждения и дать им количественную оценку в форме ответа, представляющего вектор приоритетов относительной значимости (важности) альтернатив.

При экспертном рассмотрении сложных задач, связанных с оценками риска, например, когда на этапе анализа выявлено, что каждая из рассматриваемых альтернатив связана с возможностью реализации ряда различного вида или природы аналитически не соизмеримых опасностей (рисков), можно воспользоваться модифицированной процедурой МАИ. Обоснование модифицированной процедуры МАИ приведено в [2, 3].

Предложенный в [2 - 4] метод ориентирован на решение задач сравнительной оценки эффективности (безопасности) систем по показателям риска, а также задач сравнительной оценки качества многоцелевых и многофункциональных систем, когда интегральные показатели оценки качества систем могут быть представлены в виде мультикативной свертки частных показателей.

Именно такая задача возникает при планировании и оценке мероприятий по ЛПА, когда те или иные мероприятия могут по-разному влиять как на возможность (вероятность) предотвращения ущерба, так и величину (масштаб) предотвращаемого ущерба.

Процесс выбора рационального плана ЛПА с использованием модифицированной процедуры МАИ представим в виде 5-ти уровневой иерархии. Вариант иерархии процесса выбора рационального плана ЛПА, объединяющий прямой и обратный процессы планирования приведен на рис. 1.

На *первом* (верхнем) уровне иерархии определяется единственный элемент, который определяет *цель* ЛПА, т.е. наилучший (желаемый) результат, который можно характеризовать, например максимальным предотвращенным ущербом.

На *втором* уровне, определены основные субъекты обеспечения безопасности – факторы, влияющие на эффективность ЛПА (степень достижения цели). К таковым следует, прежде всего, отнести субъекты подверженные воздействию поражающих факторов аварии на ПОО (персонал ПОО, население, объекты окружающей техносферы, природная среда, транспортная инфраструктура и др.).

На *третьем* уровне приведены планируемые мероприятия по ЛПА, которые определяются спецификой поражающих факторов конкретной аварии. Некоторые из них применительно к ЛПА на ядерно опасном и (или) радиационно опасном объекте (ЯРОО), приведены на рис. 1. Проводимые при ЛПА с ЯРОО основные мероприятия, а также их последовательность, определяются нормативными документами.

Оценки важности мероприятий в отношении к факторам, влияющим на эффективность ЛПА, будем проводить с учетом *тяжести* (величины) предотвращаемого ущерба и *вероятности* (возможности) его предотвращения на основе использования модифицированной процедуры МАИ [2, 3].

На *четвертом* уровне иерархии приведены критерии и показатели эффективности для оценки мероприятий ЛПА. К таковым можно отнести: время, стоимость, ресурсоемкость, достаточность и др.

Пятый уровень представлен множеством альтернатив (рассматриваемых вариантов планов по ЛПА), из состава которых предстоит выбрать наилучшую, обеспечивающую максимум предотвращенного ущерба.

Процесс планирования носит итеративный характер. Атрибуты каждого уровня иерархии могут быть уточнены, дополнены, либо исключены с учетом характера и специфики конкретной аварии, ее окружения, располагаемых ресурсов привлекаемых к ЛПА, а также степени влияния атрибутов на конечный результат.

Прежде чем приступить к эвристическому планированию следует содержательно описать характер аварии, возможность ее дальнейшего развития, а также используемые в модели планирования атрибуты с целью их однозначного понимания экспертами и лицом принимающим решение.

Процесс планирования (выбора рационального плана) работ ЛПА рассмотрим на примере аварии на ЯРОО. Авария характеризуется выбросом радиоактивных веществ без разрушения источника. В результате аварии произошло радиоактивное загрязнение местности (РЗМ) за пределами санитарно-защитной зоны. Угроза новых выбросов и разрушения источника сохраняются. Объект расположен на территории с высокой плотностью

населения, имеются отдельные объекты техносферы в пределах возможного воздействия поражающих факторов сопровождающих аварию. Транспортная инфраструктура в районе аварии развита, отдельные магистрали попали в зону РЗМ.

Предполагается, что силы и средства для ЛПА определены заблаговременно и может варьироваться их количество, а также затраты на проведение работ.

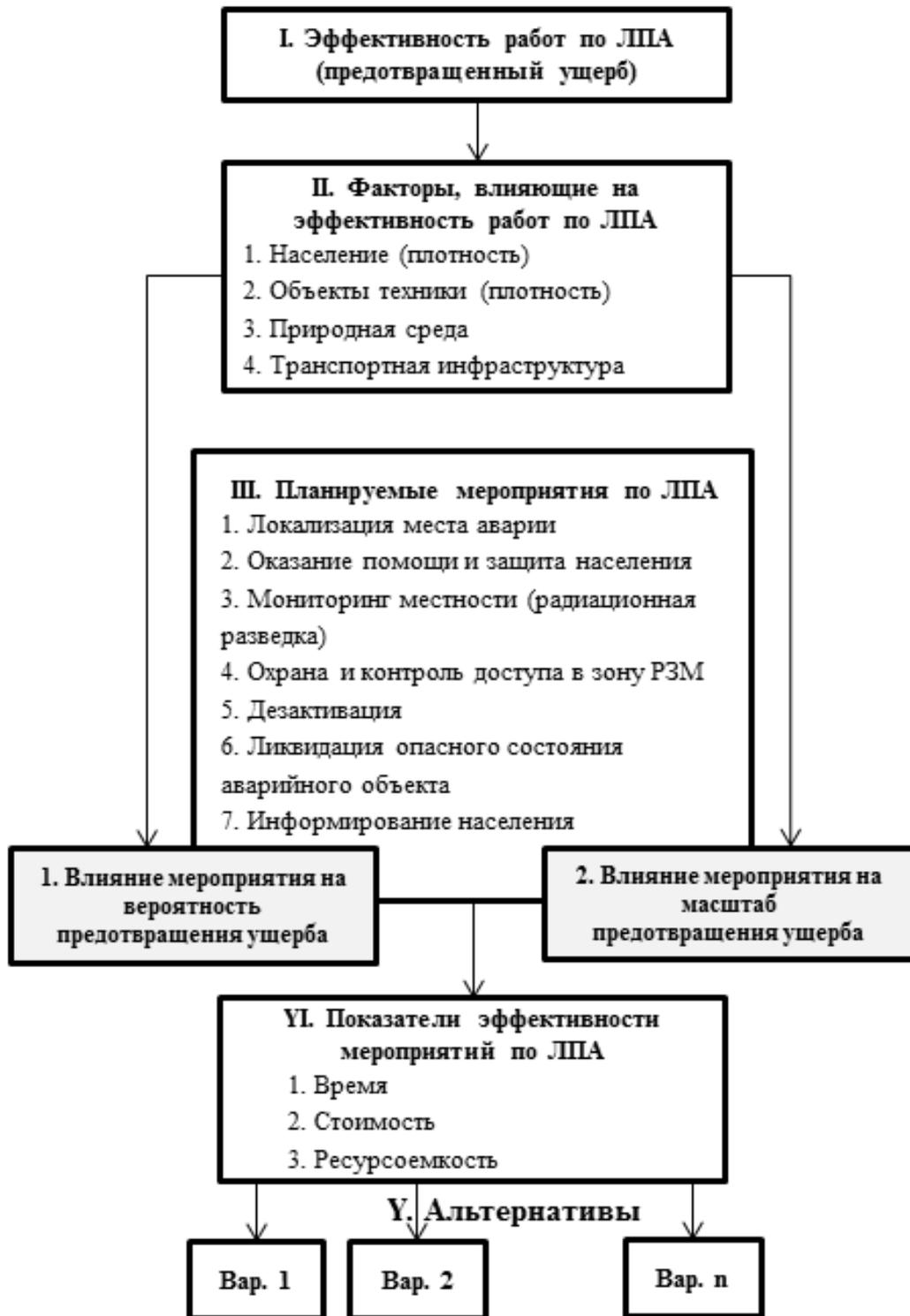


Рис. 1. Иерархия процесса определения рационального плана ЛПА

Для определения рационального плана ЛПА воспользуемся приведенной на рис. 1 иерархией процесса.

На рис. 1 временной критерий характеризует необходимость оперативного решения мероприятия. При этом, чем выше значимость критерия, тем жестче временные рамки и тем более оперативно необходимо провести работы.

Стоимостные критерии характеризуют затраты на проведение мероприятий. Увеличение значимости критерия связано с необходимостью снижения затрат.

Ресурсные критерии определяют требуемые объемы задействования сил и средств. Увеличение значимости критерия связано с необходимостью увеличения объема ресурсов.

Оценки значимости мероприятий в отношении к факторам, влияющим на эффективность ЛПА, будем проводить с учетом *вероятности* и *тяжести* (величины) предотвращаемого ущерба. Чем выше значимость показателя тяжести и вероятности, тем больше эффект обусловленный мероприятием ЛПА. Увеличение значимости свидетельствует о росте предотвращаемого ущерба.

Рассмотрим следующие альтернативы.

1. Работы проводятся силами организации, в которой произошла авария.
2. Основные специальные работы проводятся силами организации, кроме того привлекаются силы и средства местных органов управления.
3. Первоочередные работы проводятся силами организации, основные мероприятия по ЛПА проводятся силами региональных аварийных формирований.
4. Первоочередные работы проводятся силами организации и региональных аварийных формирований, ЛПА в целом проводится силами и средствами отраслевого уровня.

Варианты альтернатив работ (сценариев) по ЛПА различаются уровнем привлечения для их осуществления соответствующих формирований.

Для ЛПА с ЯРОО вводится следующая очередность основных действий привлекаемых сил и средств:

1. Локализация места аварии, оказание помощи пострадавшим, вызов аварийного формирования, доклад заинтересованным органам.
2. Мониторинг места аварии, уточнение границ зоны радиоактивного загрязнения, обследование характера разрушений, тушение пожара.
3. Созыв (формирование) органа (комиссии, штаба) по ЛПА, оценка масштабов аварии.
4. Нарращивание сил аварийных формирований.
5. Диагностика аварийного объекта, перевод объекта в менее опасное состояние.
6. Дезактивация территории, проведение работ по утилизации и захоронению поврежденных составных частей аварийного объекта (при необходимости).

Иные атрибуты приведенной иерархии процесса планирования достаточно понятны и не требуют дополнительного обсуждения.

Дальнейший алгоритм решения задачи выбора рационального плана ЛПА предполагает привлечение экспертов. Следует заметить, что привлечение отдельных экспертов целесообразно и на этапе формирования перечня атрибутов используемых в иерархии процесса планирования, а также при описании или обсуждении содержания атрибутов.

Алгоритм решения задачи выбора рационального плана ЛПА на основе использования модифицированной процедуры метода анализа иерархий (расчетный вариант)

Рассмотрим *первый* уровень иерархии (рис. 1) и содержательно определим критерий оценки эффективности работ по ЛПА как *достижение максимального предотвращенного ущерба* при осуществлении мероприятий плана ЛПА.

При рассмотрении *второго* уровня иерархии с использованием МАИ определим вектор приоритетов L_{II} , характеризующий степень влияния (ранги, значимости) *факторов* на *эффективность работ* по ЛПА на основании матрицы парных сравнений, заполненной экспертами (см. табл. 1).

Таблица 1

Фактор	1	2	3	4	Вес (L_{II})
1	1	3	3	7	0,545
2	1/3	1	1	3	0,193
3	1/3	1	1	3	0,193
4	1/7	1/3	1/3	1	0,069

Номер строки и столбца в матрице соответствуют порядковому номеру фактора согласно перечислению на втором уровне иерархии рис. 1. Шкала оценки относительной важности, на основании которой эксперты заполняют матрицы (таблицы) парных сравнений, а также зависимости для определения приоритетов приведены в [1-3]. Для рассматриваемого примера вектор приоритетов равен: $L_{II} = [0,545; 0,193; 0,193; 0,069]$.

Из рассмотренной матрицы видно, что эксперты доминирующим фактором считают плотность населения на территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению (вес 0,545).

Далее на *третьем* уровне рассматриваемой иерархии каждая пара *мероприятий* экспертами сравнивается относительно степени воздействия на *факторы* второго уровня иерархии по степени тяжести (величине) и вероятности воздействия, с последующим определением обобщенной степени влияния с использованием модифицированной процедуры МАИ [2, 3].

Матрицы парных сравнений, заполненные экспертами и полученные вектора приоритетов, приведены в табл. 2.

Далее на *четвертом* уровне рассматриваемой иерархии каждая пара *критериев* оценки мероприятий попарно сравнивается для каждого из *мероприятий*, приведенных на третьем уровне.

Результаты приведены в табл. 3.

Таблица 2

Показатель Мероприятие	Вероятность							Тяжесть							Вес $L_{III}^{(1)}$
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	
Население (плотность)															
1	1	1/3	3	1	3	3	1	1	1/3	3	1	3	3	1	0,130
2		1	5	3	5	5	1		1	5	5	5	5	1	0,555
3			1	3	3	3	1/3			1	3	3	3	1/5	0,056
4				1	1/3	3	1				1	1	1	1/3	0,029
5					1	1/3	1/3					1	1/3	1/3	0,015
6						1	1/3						1	1	0,023
7							1							1	0,191

Показатель Мероприятие	Вероятность							Тяжесть							Вес
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	
Объекты техники (плотность)															$L_{III}^{(2)}$
1	1	3	3	3	1	1	3	1	3	1	1	1/3	1/3	3	0,128
2		1	1/3	1/3	1/3	1/5	1		1	1/3	1/3	1/5	1/7	3	0,013
3			1	1	1	1/3	3			1	1	1/3	1/5	3	0,063
4				1	1	1/3	3				1	1	1/3	3	0,080
5					1	1/3	3					1	1/5	3	0,128
6						1	3						1	3	0,578
7							1							1	0,011
Природная среда															$L_{III}^{(3)}$
1	1	2	1	1	1/3	1/3	5	1	1	1	1	1/4	1/4	3	0,048
2		1	1	1/3	1/5	1/5	1		1	1	1/4	1/6	1/6	1/3	0,012
3			1	1	1/3	1/3	5			1	1	1/4	1/4	3	0,044
4				1	1/3	1/3	3				1	1/4	1/4	3	0,058
5					1	1	3					1	1/3	3	0,334
6						1	5						1	3	0,492
7							1							1	0,012
Транспортная инфраструктура															$L_{III}^{(4)}$
1	1	2	1	1	1/3	1/3	2	1	2	1	1	1/4	1/4	3	0,046
2		1	1	1/3	1/5	1/5	1		1	2	1	1/6	1/6	2	0,015
3			1	1	1/3	1/3	3			1	1	1/4	1/4	3	0,036
4				1	1/3	1/3	3				1	1/4	1/4	5	0,050
5					1	1/3	3					1	1/3	3	0,278
6						1	5						1	3	0,561
7							1							1	0,010

Таблица 3

Критерий	1	2	3	Вес
Локализация места аварии				$L_{YI}^{(1)}$
1	1	6	4	0,701
2		1	1/2	0,106
3			1	0,193
Оказание помощи и защита населения				$L_{YI}^{(2)}$
1	1	4	6	0,701
2		1	2	0,193
3			1	0,106
Мониторинг местности (радиационная разведка)				$L_{YI}^{(3)}$
1	1	3	3	0,594
2		1	1/2	0,157
3			1	0,249
Охрана и контроль входа в зону РЗМ				$L_{YI}^{(4)}$
1	1	1/2	1/2	0,196
2		1	2	0,493
3			1	0,311

Критерий	1	2	3	Вес
Деактивация				$L_{YI}^{(5)}$
1	1	2	1/2	0,311
2		1	1/2	0,196
3			1	0,493
Ликвидация опасного состояния аварийного объекта				$L_{YI}^{(6)}$
1	1	1/3	3	0,281
2		1	3	0,584
3			1	0,135
Информирование населения				$L_{YI}^{(7)}$
1	1	3	3	0,600
2		1	1	0,200
3			1	0,200

Из анализа табл. 4 видно, что доминирующим является временной критерий (№ 1) при: 1) локализации места аварии (вес 0,701), 2) оказанию помощи населению (0,701), 3) информированию населения об аварии (0,6), мониторинге (радиационной разведке) местности (0,594). Стоимостной критерий (№ 2) доминирует при: 1) обеспечении охраны и контроля входа в зону РЗМ (0,584), 2) ликвидации опасного состояния объекта (0,493). Ресурсный (№ 3) – при выполнении работ по деактивации (0,493).

На последующем этапе построим матрицы доминирования относительно каждого критерия для рассматриваемых альтернатив (сценариев) (см. табл. 4).

Таблица 4

Альтернатива	1	2	3	4	Вес
Временной критерий					$L_Y^{(1)}$
1	1	1	1/3	3	0,212
2		1	1/3	3	0,212
3			1	3	0,483
4				1	0,093
Стоимостной критерий					$L_Y^{(2)}$
1	1	3	2	4	0,475
2		1	1/2	2	0,163
3			1	2	0,255
4				1	0,107
Ресурсный критерий					$L_Y^{(3)}$
1	1	1/3	1/5	1/7	0,054
2		1	1/3	1/6	0,110
3			1	1/3	0,258
4				1	0,578

Далее определим ранги (веса, важности, значимости) \mathbf{L}_{II-III} мероприятий относительно факторов, влияющих на эффективность работ по ЛПА. С этой целью необходимо вектора приоритетов планируемых мероприятий $\mathbf{L}_{III} = [\mathbf{L}_{III}^{(1)} \dots \mathbf{L}_{III}^{(4)}]$ умножить справа на вектор приоритетов факторов \mathbf{L}_{II} , полученный для второго уровня:

$$\mathbf{L}_{II-III} = \mathbf{L}_{III} \times \mathbf{L}_{II} = [\mathbf{L}_{III}^{(1)} \dots \mathbf{L}_{III}^{(4)}] \times \mathbf{L}_{II} = \begin{bmatrix} 0,130 & 0,128 & 0,048 & 0,046 \\ 0,555 & 0,013 & 0,012 & 0,015 \\ 0,056 & 0,063 & 0,044 & 0,036 \\ 0,029 & 0,080 & 0,058 & 0,050 \\ 0,015 & 0,128 & 0,334 & 0,278 \\ 0,023 & 0,578 & 0,492 & 0,561 \\ 0,191 & 0,011 & 0,012 & 0,010 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,545 \\ 0,193 \\ 0,193 \\ 0,069 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,108 \\ 0,309 \\ 0,054 \\ 0,046 \\ 0,116 \\ 0,258 \\ 0,109 \end{bmatrix}.$$

Полученный вектор \mathbf{L}_{II-III} определяет ранги мероприятий с учетом влияния факторов на эффективность работ по ЛПА. В рассматриваемом примере наибольший вес имеют мероприятия по оказанию помощи и обеспечению защиты населения (0,309), следующими по важности является работы по ликвидации опасного состояния объекта (0,258).

На следующем шаге определим значимости критериев относительно проводимых мероприятий. С этой целью необходимо вектор приоритетов критериев $\mathbf{L}_{VI} = [\mathbf{L}_{VI}^{(1)} \dots \mathbf{L}_{VI}^{(7)}]$ умножить справа на вектор \mathbf{L}_{II-III} , полученный на предыдущем шаге:

$$\mathbf{L}_{II-III-VI} = \mathbf{L}_{VI} \times \mathbf{L}_{II-III} = [\mathbf{L}_{VI}^{(1)} \dots \mathbf{L}_{VI}^{(7)}] \times \mathbf{L}_{II-III} = \begin{bmatrix} 0,701 & 0,701 & 0,594 & 0,196 & 0,311 & 0,281 & 0,6 \\ 0,106 & 0,193 & 0,157 & 0,493 & 0,196 & 0,584 & 0,2 \\ 0,193 & 0,106 & 0,249 & 0,311 & 0,493 & 0,135 & 0,2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,108 \\ 0,309 \\ 0,054 \\ 0,046 \\ 0,116 \\ 0,258 \\ 0,109 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,507 \\ 0,298 \\ 0,195 \end{bmatrix}.$$

Полученный вектор $\mathbf{L}_{II-III-VI}$ определяет значимости критериев, используемых для оценки эффективности проводимых мероприятий и плана ЛПА в целом. Наибольшей значимостью обладает временной критерий (0,507) – оперативность и своевременность выполнения мероприятий по ЛПА.

Для определения наилучшей альтернативы, обеспечивающей максимальную эффективность работ по ЛПА необходимо вектора доминирования альтернатив $\mathbf{L}_Y = [\mathbf{L}_Y^{(1)}, \mathbf{L}_Y^{(2)}, \mathbf{L}_Y^{(3)}]$ относительно принятых критериев умножить справа на вектор $\mathbf{L}_{II-III-VI}$, полученный на предыдущем шаге.

$$\mathbf{L}_{II-III-YI-Y} = \mathbf{L}_Y \times \mathbf{L}_{II-III-YI} = [\mathbf{L}_Y^{(1)} \dots \mathbf{L}_Y^{(3)}] \times \mathbf{L}_{II-III-YI} =$$

$$= \begin{bmatrix} 0,212 & 0,475 & 0,054 \\ 0,212 & 0,163 & 0,110 \\ 0,483 & 0,255 & 0,258 \\ 0,093 & 0,107 & 0,578 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,507 \\ 0,298 \\ 0,195 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,260 \\ 0,177 \\ 0,371 \\ 0,192 \end{bmatrix}.$$

Таким образом, для рассматриваемого примера наилучшей является альтернатива №3, в которой первоочередные работы проводятся силами организации, а основные мероприятия по ЛПА – силами региональных аварийных формирований. Альтернатива №3 имеет наибольший вес (ранг) равный 0,371. Найденное решение по показателю прогнозируемого предотвращенного ущерба на 30% превосходит второе по значимости решение имеющее вес равный 0,260 (альтернатива №1).

Выводы

Рассмотренный вариант решения задачи определяет алгоритм – последовательность и правила построения иерархии процесса, описания атрибутов модели и выполнения расчетов для определения рационального плана проведения мероприятий по ЛПА на ПОО, с применением модифицированной процедуры МАИ.

Последовательное вычисление приоритетов элементов (атрибутов) от верхнего уровня иерархии к нижним в МАИ позволяет количественно оценить влияние всех включенных в иерархию атрибутов:

- акторов – участников процесса (действующие силы, персонал), поведение и предпочтения которых могут воздействовать на результаты ЛПА;
- целей и критериев, определяющих действия акторов;
- факторов, влияющих на эффективность работ по ЛПА;
- стратегий, сценариев (возможных действий акторов);
- альтернатив, возможных решений, в рассматриваемом аспекте – варианты планов и мероприятий по ЛПА.

Входной информацией предложенного алгоритма служат матрицы суждений экспертов – таблицы парных сравнений доминирования (приоритетов) атрибутов каждого уровня с точки зрения атрибутов ближайшего более высокого уровня иерархии.

МАИ дает универсальную методологическую основу для поддержки принятия решений в различных областях применения и в частности, принятия решения по выбору рациональных вариантов (планов) проведения мероприятий по ЛПА на ПОО. Метод позволяет формализовать процедуры количественной оценки приоритетов, используя как числовую информацию (статистические данные, результаты оптимизационных расчетов и пр.), так и качественную (систематические суждения экспертов), позволяет при выборе рациональных решений учесть разнородные показатели и критерии, сценарии, воздействия многочисленных факторов.

Обоснованность решений можно обеспечить, контролируя показатели (максимальное собственное значение матриц суждений экспертов, индексы и отношения согласованности оценок) которые оценивают согласованность суждений экспертов и дают подсказку по изменению суждений при большой логической несогласованности [1-4].

Важным требованием, обеспечивающим согласованность применения МАИ, является квалификация экспертов, принимающих участие в создании структуры иерархической модели принятия решений (в нашем случае модели определения рациональных планов ЛПА), подготовке данных и в интерпретации результатов. Во многом обоснованность решения, принятого с помощью МАИ проблемы, связана с:

- 1) полнотой учета факторов, определяющих ранг решений;
- 2) адекватностью формулировок критериев для парных сравнений атрибутов тем целям, которые преследуются при построении иерархической структуры модели;
- 3) полнотой учета связей между целью ранжирования, факторами и возможными решениями;
- 4) применением модифицированной процедуры МАИ для сравнительной оценки атрибутов (акторов) системы, важность (ранг) которых существенным образом зависит, как от возможности (вероятности) реализации события, так и его величины (масштаба).

Литература

1. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий /Пер. с англ. – М.: Радио и связь. - 1989.
2. Гаенко В.П. Модифицированная процедура метода анализа иерархий для сравнительных оценок безопасности систем // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. М.: ВИНТИ РАН. – 2013. – № 6. – С. 98-105.
3. Гаенко В.П. Безопасность технических систем: методологические аспекты теории, методы анализа и управления безопасностью. – СПб.: СВЕН. - 2014.
4. Гаенко В.П. Методика выявления опасностей, анализа и оценки риска на основе модифицированной процедуры метода анализа иерархий. Руководство пользователя. Методика № 414 фонда алгоритмов и программ НИЦ БТС. - 2009.

Сведения об авторе

Гаенко Василий Петрович – главный научный сотрудник Научно-исследовательского центра безопасности технических систем 12 Центрального научно-исследовательского института Министерства обороны Российской Федерации (НИЦ БТС 12 ЦНИИ Минобороны России), профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации. 197375, г. Санкт-Петербург, ул. Новосельковская, д. 39. Факс: (812) 303-0559, телефоны: +7 911 946-6402, e-mail: gaen@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ ТУШЕНИЯ ПЛАМЕН ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ ПОЛИДИСПЕРСНЫМ ВОДЯНЫМ ПОТОКОМ

И.С. Войтков, кандидат физ.-мат. наук *О.В. Высокоморная*, *М.В. Забелин*

Энергетический институт

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

В работе представлены результаты экспериментальных исследований основных характеристик подавления пламен типичных жидких топлив и горючих жидкостей (на примере модельного цилиндрического очага высотой $h \approx 1$ м и диаметром $d \approx 0,15$ м) распыленным потоком воды. Определены пороговые для достижения условий подавления пламени соотношения скорости высокотемпературных продуктов сгорания U_g , дисперсности R_d и начальной скорости U_d капельного потока воды, соответствующие использованным в экспериментах горючим жидкостям (спирт, ацетон, керосин, бензин, нефть). Получены значения времени тушения t_e и объемов затраченной воды в зависимости от параметров пламени и полидисперсного потока тушащей жидкости.

Ключевые слова: жидкое топливо, органическая горючая жидкость, пламя, распылённый поток воды, тушение.

THE FEATURES OF EXTINGUISHING THE FLAMES OF FLAMMABLE LIQUID SBYPOLY DISPERSE WATER FLOW

I.S. Voytkov, PhD (Phys.-Mat.) *O.V. Vysokomornaya*, *M.V. Zabelin*

Power institute

National research Tomsk polytechnic university

The work presents the results of experimental researches in the main characteristics of the fire suppression of typically liquid fuels and flammable liquids (by the example of the model cylindrical source of the height $h \approx 1$ m and diameter $d \approx 0,15$ m) by atomized water flow. We determined the relations (which are threshold for achieving the conditions of fire suppression) of speeds of high-temperature combustion products U_g , dispersability R_d and initial velocity U_d of droplet flow of water, corresponding to that combustible liquids used in the experiments (alcohol, acetone, kerosene, gasoline, oil). The values of extinguishing time and volumes of expended water were obtained depending on the parameters of flame and polydisperse flow of extinguishing liquid.

Key words: liquid fuel, organic flammable liquid, flame, atomized water flow extinguishing.

Введение

В настоящее время одними из наиболее эффективных технологий тушения пожаров с участием органических горючих жидкостей, нефти и продуктов её переработки принято считать технологии, основанные на применении пенных составов [1–3], а также двуокиси углерода [4, 5]. Такие методы направлены, прежде всего, на вытеснение реагирующих веществ (паров горючей жидкости и окислителя) из зоны пламени [1, 6–8] и снижение температуры жидкой и газовой фазы для сокращения интенсивности испарения горючего.

Проведенные в последние годы экспериментальные исследования тепломассопереноса и испарения при движении капельных потоков воды, растворов, эмульсий и суспензий на её основе в среде высокотемпературных (свыше 600 К) продуктов сгорания органических горючих жидкостей позволили установить высокие скорости фазовых превращений в таких системах [9, 10]. Такие результаты позволяют сделать предположение о возможности эффективного использования водяного пара в качестве среды, вытесняющей окислитель и пары горючего из пламенной зоны.

В работе [10] представлены результаты экспериментального анализа основных характеристик испарения капель распылённой воды, и раствора NaCl в продуктах сгорания ацетона и технического этилового спирта, а также проведено сопоставление полученных характеристик с аналогичными результатами экспериментов при использовании продуктов сгорания керосина [11, 12]. В исследованиях [10–12] основной акцент сделан на анализе уменьшения характерных размеров капель распыленного жидкостного состава при движении в высокотемпературных газах. В то же время представляет интерес оценка возможности подавления пламен типичных жидких топлив и горючих жидкостей распылённым потоком воды, а также определение материальных характеристик тушения (времени тушения t_e и затраченного объема тушащей жидкости V_e).

Цель настоящей работы – экспериментальное исследование условий подавления пламен типичных жидких топлив и горючих жидкостей (на примере модельного очага) распыленной водой, а также определение количественных характеристик процесса тушения.

Экспериментальный стенд и методы исследований

Для исследования характеристик тушения типичных жидких топлив и органических горючих жидкостей распыленным потоком воды использовался стенд, аналогичный представленному в работе [10]. В качестве модельного очага пламени применялся полый цилиндр (высота $h \approx 1$ м, диаметр $d \approx 0,15$ м) из кварцевого стекла с расположенной в его основании горелкой. В горелку заливали около 250 мл горючей жидкости, затем инициировали зажигание последней. По истечении временного периода около 300 с. (для выхода горения на стационарный режим и прогрева модельного очага) включался распылитель, установленный на высоте 0,5 м относительно верхней плоскости цилиндра. Дисперсность капельного потока воды составляла $R_d \approx 0,05–0,2$ мм. Капли, двигаясь в направленном противоположно потоке высокотемпературных продуктов сгорания, частично испарялись, и достигали зоны пламени. Диагностика потока распыленной воды осуществлялась с использованием оптических методов «ParticleImageVelocimetry» (PIV) [13], «ParticleTrackingVelocimetry» (PTV) [14], «StereoscopicParticleImageVelocimetry» (StereoPIV) [15] и «ShadowPhotography» (SP) [16]. Движение и характеристики распыленного капельного потока воды регистрировались высокоскоростными CMOS видеокамерами Phantom V411 и Phantom MIROM310 (формат изображения 1280×1280 пикселей, максимальная частота съёмки $6 \cdot 10^5$ кадров/с), а также кросскорреляционными камерами IMPERXIGV B2020M, работающими совместно с системой иллюминации на базе импульсного Nd:YAG лазера (длина волны 532 нм, минимальная энергия в импульсе 70 мДж, максимальная длительность импульса 12 нс, частота повторений 15 Гц) и синхронизатором сигналов камер, лазера и персонального компьютера со специализированным программным обеспечением.

При проведении опытов исследовалось тушение пламен следующих горючих жидкостей: бензин марки АИ-92, авиационный керосин ТС-1, ацетон (диметилкетон, ГОСТ 2768-84), спирт (этиловый синтетический, ГОСТ Р 52574-2006), а также лёгкая нефть (плотность $\rho \approx 667$ кг/м³, Чаяндинское нефтегазоконденсатное месторождение (НГКМ), разведочная скважина 75). Контроль температуры пламени и продуктов сгорания T_g

осуществлялся с помощью вольфрамений-вольфрамениевых термопар (диапазон измеряемых температур 0–2473 К, предел допускаемой погрешности $\pm 0,005 \cdot |T_g|$).

С использованием методов трассерной визуализации PIV, PTV и Stereo PIV [13–15] в экспериментах регистрировались скорости движения высокотемпературных газов U_g и капельного потока воды U_d . Осредненные регулярные двухкомпонентные и трехкомпонентные поля скорости потоков определялись с применением методов PIV [13] и Stereo PIV [15] соответственно. Метод PTV [14] использовался для непрерывного слежения за каждой отдельной каплей в распыленном потоке и построения нерегулярного двумерного распределения скорости. Характерные размеры капель R_d определялись с применением метода теневой макросъемки SP [16].

Для исследования особенностей и характеристик тушения пламен жидких топлив и горючих жидкостей фиксировались времена тушения t_e и объем затраченного тушащего состава V_e . На предварительном этапе экспериментов определялось время полного выгорания горючей жидкости t_b (без тушения). Затем исследования проводились по описанной выше методике. Тушение считалось достигнутым при отсутствии пламени (фиксирувалось визуально), снижении температуры T_g на 50 % и более в течение 60 секунд и выполнении условия $t_e \ll t_b$.

Погрешности определения времен t_b и t_e составили 0,5 с, погрешности определения объема V_e не превышали $2 \cdot 10^{-3}$ л. Систематические погрешности измерения скоростей U_g составили 2,5 %, U_d – 2 %, размеров R_d – 3 %.

Результаты и обсуждение

На рис. 1 представлены зависимости характерных времён t_e от скорости движения потока высокотемпературных продуктов сгорания U_g для двух групп значений начальной скорости капель тушащей среды U_d и начального радиуса капель R_d . Проведённые эксперименты позволили установить для всех использованных жидких топлив и горючих жидкостей предельные значения скорости высокотемпературных продуктов сгорания U_g , при которых достигается тушение пламени при заданных параметрах (дисперсности R_d и начальной скорости движения U_d) потока тушащей среды (рис. 1). Минимальные пороговые (предельные) значения U_g для обеих групп дисперсности соответствуют бензину, керосину и спирту (рис. 1). Наиболее высокие предельные значения U_g , а также минимальные времена тушения t_e при заданных параметрах потока распыленной воды характерны пламени нефти.

Меньшие значения времён t_e зарегистрированы в опытах с дисперсностью тушащего состава $R_d \approx 0,03$ – $0,12$ мм (рис. 1, а). При этом больший диапазон предельных значений U_g соответствует $R_d \approx 0,05$ – $0,20$ мм (рис. 1, б). Такой результат, с одной стороны, можно объяснить большей интенсивностью процессов тепломассопереноса при движении капельного потока с меньшими размерами элементов в высокотемпературных газах. С другой стороны, при увеличении скорости продуктов сгорания U_g возрастает вероятность явлений разворота и уноса мелких элементов (капель) полидисперсного потока [17]. Фазовые превращения при этом происходят на удалении от зоны пламени, и условия тушения не достигаются.

Значения затраченного на тушение пламени объема воды V_e в зависимости от скорости высокотемпературных продуктов сгорания U_g приведены на рис. 2. Объемный расход тушащей среды в единицу времени поддерживался в экспериментах постоянным.

Анализ зависимостей, представленных на рис. 2, позволяет сделать вывод о том, что наиболее благоприятный прогноз тушения потоком распылённой воды среди использованных в экспериментах горючих жидкостей характерен нефти.

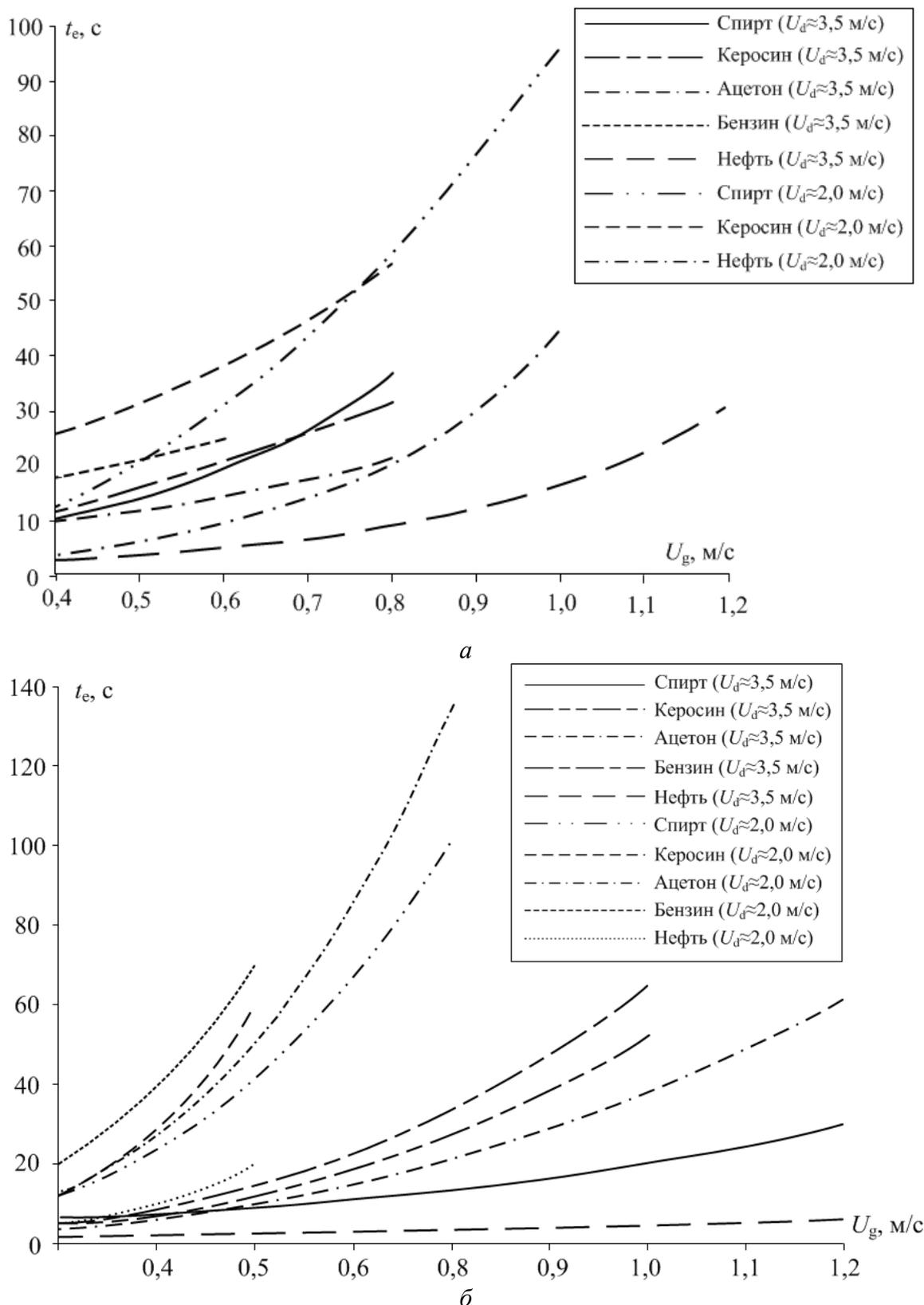


Рис. 1. Аппроксимационные зависимости времен тушения t_e горючих жидкостей от скоростей продуктов сгорания U_g для разных начальных скоростей движения каплей U_d :
 а – $R_d \approx 0,03-0,12$ мм; б – $R_d \approx 0,05-0,20$ мм (прерывание кривой на рисунке соответствует условиям, при которых тушение не достигается)

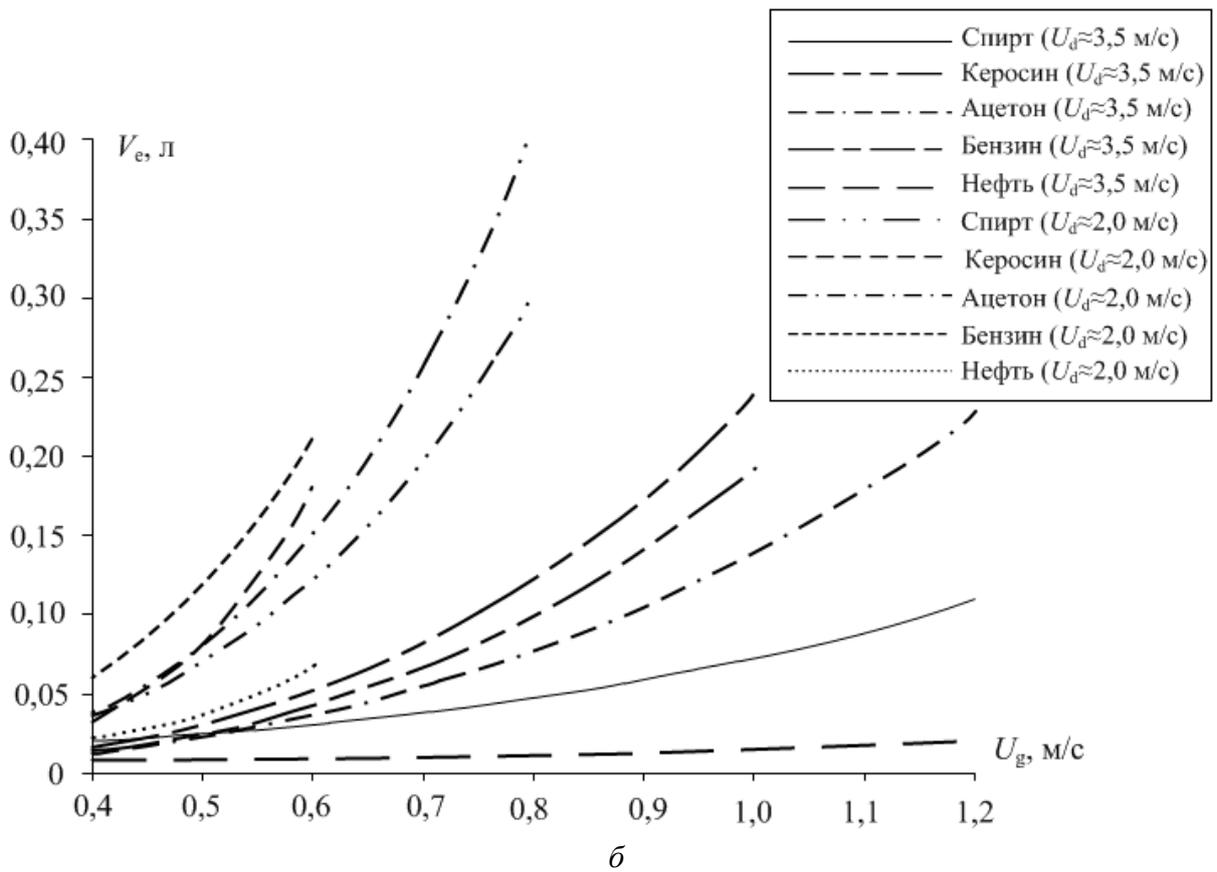
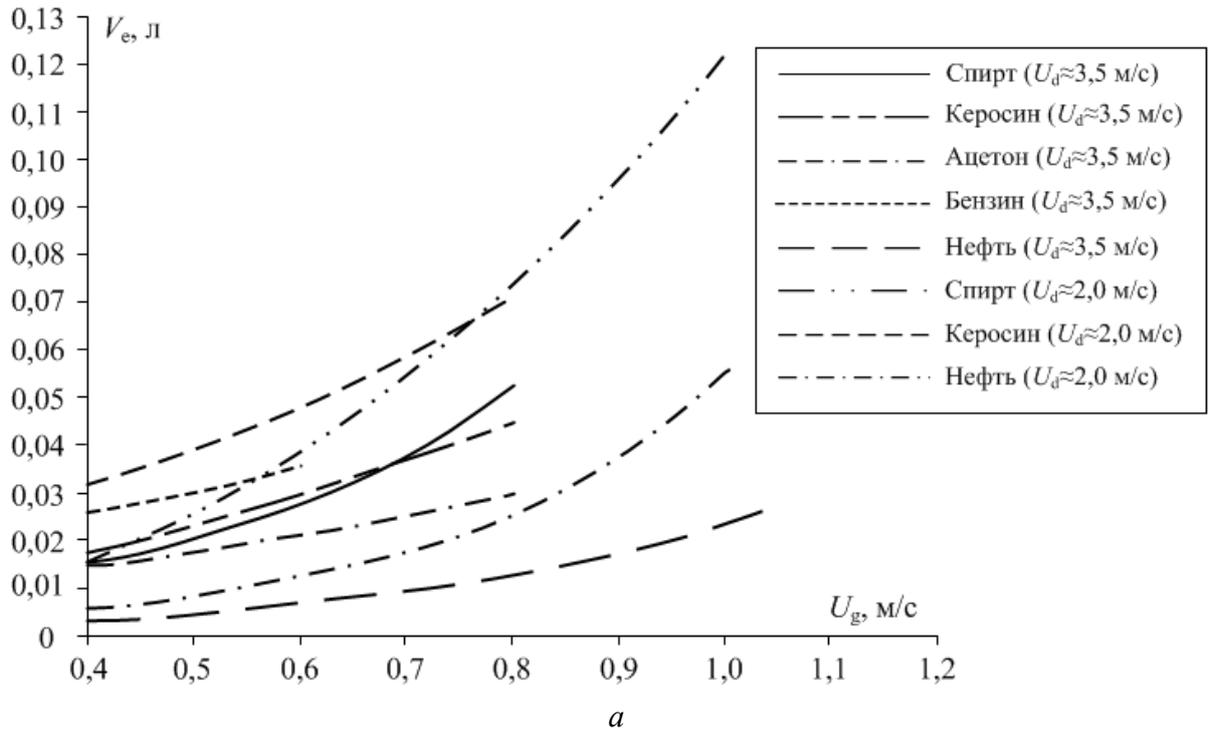


Рис. 2. Аппроксимационные зависимости объемов V_e от скоростей продуктов сгорания U_g для разных начальных скоростей движения каплей U_d : *a* – $R_d \approx 0,03-0,12$ мм; *б* – $R_d \approx 0,05-0,20$ мм (прерывание кривой на рисунке соответствует условиям, при которых тушение не достигается)

Поскольку при тушении возгораний капельными потоками обеих групп дисперсности подавить пламя модельного очага удавалось при меньших значениях характерного времени t_e , затраты тушащей среды также были минимальными (рис. 2). Вероятно, полученный результат связан с высокой температурой испарения нефти. Как известно [18], окисление (горение) жидкостей происходит в газовой фазе. Интенсивное испарение нефти происходит при значительно более высоких температурах (около 500 К), чем соответствующие температуры других горючих жидкостей. Благодаря таким теплофизическим свойствам для поддержания концентрации паров нефти на необходимом для стабильного (стационарного) горения уровне температура в очаге должна соответствовать температуре интенсивного испарения. При тушении такого возгорания потоком распыленной воды впрыск тушащего состава в зону пламени быстро снижал температуру очага до значений ниже температуры интенсивного испарения нефти (рис. 2).

Полученные экспериментальные данные об особенностях и характеристиках тушения пламен типичных горючих жидкостей распыленной водой расширяют современные представления об основных закономерностях тепломассопереноса и фазовых превращений при движении капельных потоков воды в среде высокотемпературных газов. Представленные в работе результаты исследований могут быть использованы при разработке эффективных систем пожаротушения на предприятиях нефтяной, нефтеперерабатывающей и химической промышленности.

Заключение

Проведенные эксперименты позволили установить пороговые соотношения параметров потока тушащей среды (дисперсность и начальная скорость движения капель) и высокотемпературных продуктов сгорания (скорость U_g) для подавления пламени модельного очага с использованием наиболее распространенных жидких топлив и горючих жидкостей. Полученные при проведении опытов характеристики тушения позволяют оценить эффективность применения полидисперсных водяных потоков для подавления пламен типичных жидких топлив и органических горючих жидкостей.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (проект 15–38–20006).

Литература

1. Шароварников А.Ф., Молчанов В.П., Воевода С.С., Шароварников С.А. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов. Москва: Калан. - 2002.
2. Мелкозеров В.М., Лапушова Л.А., Васильев С.И. Исследование характеристик термозащитных пен для тушения возгораний нефти и нефтепродуктов // Системы. Методы. Технологии. - 2012. № 4. С. 107–109.
3. Матвеев Ю.А., Кузнецов В.А., Чеботарев С.С., Тарасов О.В., Вахрушева И.Н. Установка для улавливания нефтяной пены и тушения выбросов горячей нефти из резервуара // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. - 2015. № 1. С. 50–53.
4. Меркулов В.А., Кузьменко К.П., Кирсанов А.И. Тушение диоксидом углерода пожаров в вертикальных стальных резервуарах с нефтью и нефтепродуктами // Пожаровзрывобезопасность. - 2013. Т. 22, № 3. С. 58–61.
5. Иванов А.Н., Воевода С.С., Тимошенко Н.И. Технология тушения пожаров в резервуарах с нефтью и нефтепродуктами подслоным методом // Энергосбережение и водоподготовка. - 2004. № 4. С. 75–76.
6. Руководство по тушению нефти и нефтепродуктов в резервуарах и резервуарных парках— М.: ГУГПС-ВНИИПО-МИПБ. - 1999 — 79 с.

7. Рекомендации по тушению полярных жидкостей в резервуарах. — М.: ФГУ ВНИИПО. - 2007. — 58 с.
8. Рекомендации по тушению высокооктановых бензинов АИ-92, АИ-95, АИ-98 в резервуарах. — М.: ВНИИПО. - 2009. — 12 с.
9. Жданова А.О., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Эффективность использования теплоты парообразования при воздействии «водяным снарядом» на пламя // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. - 2013. № 6. С. 82–91.
10. Волков Р.С., Высокоморная О.В., Дмитриенко М.А., Жданова А.О. Сравнение интегральных характеристик испарения капель воды с разными начальными параметрами в пламенах типичных горючих жидкостей // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. - 2015. № 5. С. 45–55.
11. Волков Р.С., Высокоморная О.В., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Экспериментальное исследование изменения массы капель воды при их движении через высокотемпературные продукты сгорания // Инженерно-физический журнал. - 2013. Т. 86, № 6. С. 1327–1332.
12. Волков Р.С., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Влияние начальных параметров распыленной воды на характеристики ее движения через встречный поток высокотемпературных газов // Журнал технической физики. - 2014. Т. 84, № 7. С. 15–23.
13. Foucaut J.M., Stanislas M. Some considerations on the accuracy and frequency response of some derivative filters applied to particle image velocimetry vector fields // Measurement Science and Technology. - 2002. Vol. 13. Pp. 1058–1071.
14. Kreizer M., Ratner D., Liberzon A. Real time image processing for particle tracking velocimetry // Experiments in Fluids. - 2010. Vol. 48. Pp. 105–110.
15. Stepanov E.Yu., Maslov V.P., Zakharov D.L. A stereo PIV system for measuring the velocity vector in complex gas flows // Measurement Techniques. - 2009. Vol. 52, No. 6. Pp. 626–631.
16. Dehaeck S., Van Parys H., Hubin A., Van Beeck J.P. A.J. Laser marked shadowgraph: a novel optical planar technique for the study of micro bubbles and droplets // Experiments in Fluids. - 2009. Vol. 47, Iss. 2. Pp. 333–341.
17. Volkov R.S., Kuznetsov G.V., Strizhak P.A. Water droplet deformation in gas stream: Impact of temperature difference between liquid and gas // International Journal of Heat and Mass Transfer. - 2015 Vol. 85. Pp. 1–11.
18. Вилюнов В.Н. Теория зажигания конденсированных веществ. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение. - 1984.

Сведения об авторах

Войтков Иван Сергеевич, - аспирант кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов Национального исследовательского Томского политехнического университета. Энергетический институт. 634050 Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30. Телефон: +79528893090. E-mail: i.voytkov@ges.tomsk.ru.

Высокоморная Ольга Валерьевна, - инженер-исследователь кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов Национального исследовательского Томского политехнического университета. Энергетический институт. 634050 Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30. Телефон: +7(3822) 701-777, доп. 1957, +79138461236. E-mail: vysokomornaja@tpu.ru.

Забелин Максим Валерьевич, - аспирант кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов Национального исследовательского Томского политехнического университета. Энергетический институт. 634050 Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30. Телефон: +79511805583. E-mail: zabelin.maxim@sintek-nn.ru.

УДК 613.644:62-784.3.

**ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КРИТИЧЕСКИ
ВАЖНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СОВРЕМЕННЫХ
СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ:
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ЗАДАЧИ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ**

**Доктор техн. наук Р.А. Дурнев, кандидат военных наук Е.М. Мещеряков
ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ)**

Предложен подход к повышению устойчивости функционирования критически важных объектов при воздействии современных средств поражения. Приведены расчеты по действенности реализации данного подхода. Рассмотрена роль гражданской обороны страны в реализации указанного подхода.

Ключевые слова: критически важный объект, гражданская оборона, современные средства поражения, крылатые ракеты, ракетно-пушечный комплекс, повышение устойчивости функционирования.

**IMPROVE THE SUSTAINABILITY OF CRITICAL FACILITIES UNDER
THE INFLUENCE OF MODERN: PERSPECTIVE CIVIL DEFENSE TASKS**

**Dr. (Tech.) R.A. Durnev, Ph.D. (Military) E.M. Mesheryakov
FC VNII GOChS Emercom of Russia**

An approach to improve the sustainability of critical facilities under the influence of modern means of destruction. The calculations for the effectiveness of the implementation of this approach. The role of civil defense in the implementation of this approach.

Key words: critical facilities, civil defense, modern weapons, cruise missiles, missile-gun system, improving the stability of operation of the facility.

Геополитическая ситуация в мире имеет негативную тенденцию к дальнейшему кризисному обострению межгосударственной напряженности. Потеря рядом западных стран во главе с США возможностей реализовывать свою концепцию однополярного мира привело к возрастанию противоречий между различными регионами, и обусловило рост угроз их перерастания в военные конфликты. Кроме того, позиция России по разрешению кризисных ситуаций и противодействию терроризму, включая взгляды на проблему ДАИШ - ИГИЛ (организации, запрещенной в нашей стране), не находят понимания Запада в силу реализуемых ими двойных стандартов оценки тех или иных событий.

Современная обстановка характеризуется происходящим всесторонним наращиванием средств вооруженной борьбы, развитием новых видов оружия. Как считается [1], основными угрозами безопасности Российской Федерации в военно-технической сфере будут следующие:

- создание полноценной системы ПРО США;
- принятие до 2025 года на вооружение армии США гиперзвуковых крылатых ракет;
- создание странами НАТО технологий высокоскоростного кинетического оружия, лазерных комплексов;

совершенствование ядерного оружия;
развитие мини- и наноспутников;
использование сил и средств киберопераций;
развитие нанотехнологий, создание полностью интеллектуальных образцов вооружения, военной и специальной техники;
создание и фактическое замещение традиционных систем вооружения беспилотными летательными аппаратами различного назначения, наземными и морскими робототехническими комплексами, исполненными с использованием систем искусственного интеллекта и способными самостоятельно решать боевые задачи в любой обстановке.

Кроме того [1], направлениями создания вооружения, военной и специальной техники являются:

разработка технических решений на основе нанотехнологий (технологии создания альтернативных источников энергии);

разработка технических решений на основе биотехнологий (химические и информационные технологии, технологии робототехники, генно-инженерные методы);

использование для этих целей информационных и когнитивных технологий (технологии биологической элементной базы, решение слабоформализованных творческих задач);

создание и фактическое замещение традиционных систем вооружения беспилотными летательными аппаратами различного назначения;

разработка наземных и морских робототехнических комплексов, созданных на основе систем искусственного интеллекта и способных самостоятельно решать задачи в любой обстановке.

Одновременно будет производиться наращивание и современных эффективных средств вооружённой борьбы, к которым относятся и крылатые ракеты, общая численность которых, как ожидается к 2020 году, может достигнуть 100 тыс. единиц [2]. Можно предположить, что данные изделия следует рассматривать как наиболее вероятные для применения по критически важным объектам (КВО) экономики.

Вместе с тем, считается [3], что масштаб агрессии будет таким, чтобы не спровоцировать Россию на применение ядерного потенциала. Однако, и в этом случае, при нападении на Россию будут задействованы от 5 до 7 авианосцев с 400 – 500 самолётами палубной авиации, 1,5 – 2 тысячи самолётов наземного базирования, а в течение первых двух – трёх суток может быть применено 1000 – 1500 стратегических крылатых ракет в обычном снаряжении.

В соответствии с существующими взглядами на распределение средств поражения считается [4], что от 10 до 30% их ресурса может быть выделено для нанесения ударов по важнейшим административно-политическим центрам и объектам экономики. Следовательно, в начальный период боевых действий по данным объектам может быть применено порядка 475 – 625 самолётов и около 250 – 375 крылатых ракет. Это подтверждается и тем фактом, что в ходе войны против Югославии в 1999 году более 90% наземных целей были назначены для поражения авиацией и крылатыми ракетами [5]. В совокупности, ежесуточным ударам могут быть подвержены до 300 – 320 административно-политических объектов и объектов экономики.

Данное положение определяет необходимость постановки вопроса о решении проблемы снижения риска поражения объектов, критически важных для государства в военное время.

Это приводит к необходимости постановки вопроса: как защитить подобные объекты, какова роль гражданской обороны и системы местной обороны в решении поставленной проблемы?

По-видимому, необходимо рассмотреть роль гражданской обороны и системы местной обороны в новом качестве, а именно, как они будут оказывать реальное противодействие

средствам вооружённой борьбы вероятного противника и, тем самым, снижать уровень причиняемого ущерба и объём аварийно-спасательных и других неотложных работ на КВО.

Рассмотрим, каковы возможности противника по поражению объектов крылатыми ракетами. Исходя из приведённых показателей и принимая во внимание в качестве исходных данных [6], что для поражения объекта типа «среднее предприятие» или аэродром требуется от 8-10 до 15-20 крылатых ракет, можно определить количество предприятий, по которым будет нанесён удар в зоне досягаемости крылатых ракет. Количество таких объектов может составить от 14-28 до 21-42 единиц. Глубина поражения объектов (если её оценку проводить на основе прямолинейной дальности и постоянной высоты полёта) приведена для крылатой ракеты «Томагавк» в таблице [7]:

Таблица

Оценка максимальной прямолинейной дальности (км) для некоторых значений скорости и постоянной высоты полёта крылатой ракеты «Томагавк»

Скорость (число Маха)	Высота 100 футов	Высота 10000 футов	Высота 20000 футов
0,55	3330	3890	4000
0,65	3020	3860	4490
0,75	2650	3580	4550
Оптимальная (1 фут – 0,3084 м)	3400	3920	4600

Анализ представленных данных показывает, что возможности крылатых ракет обеспечивают поражение целей на всей европейской части Российской Федерации, на Урале и части Западной Сибири.

Известно [8], что на территории Российской Федерации находится более 4 тысяч КВО, нарушение или прекращение функционирования которых может привести к потере управления, разрушению инфраструктуры, необратимому негативному изменению (или разрушению) экономики страны. Одновременно следует отметить тот факт, что около 75% данных объектов сосредоточено в европейской части страны.

Предложение по совершенствованию защиты КВО состоит в том, чтобы обеспечить их работоспособность даже в случае воздействия по ним современных высокоточных средств поражения, включая и крылатые ракеты воздушного и морского базирования. Это может быть достигнуто созданием территориально распределённой локальной системы ПРО/ПВО на базе каждого критически важного объекта.

Рассмотрим возможность решения данной задачи на современном этапе. Для проведения соответствующих расчётов должен быть определён перечень необходимых исходных данных.

Данный перечень включает основную исходную и справочную информацию:

планируемое количество применяемых по каждому из критически важных объектов крылатых ракет (в случае объекта типа «среднего предприятия» данное количество может составлять от 8 – 10 до 15 – 20 единиц [6]);

объект защищается зенитными управляемыми малогабаритными ракетами 57Э6Е с командной системой наведения и эффективностью поражения 0,7 – 0,95 (средняя эффективность составляет 0,825 и, именно данное значение будет использоваться при проведении расчётов);

данные ракеты применяются ракетно-пушечным комплексом «Панцирь – С1»;

- комплекс укомплектован полным комплектом ракет в количестве 12 единиц.

Справочная информация включает следующие показатели:

предельное отклонение ракеты для расчёта принимается в интервале 5 – 10 м (среднее – 7,5 м);

масса головной части крылатой ракеты (в моноблочном исполнении) составляет 450 кг.

Для проведения расчётов воспользуемся математическим аппаратом теории вероятностей, который позволяет проводить расчёт и получать оценку возможности уничтожения той или иной воздушно-космической цели [9], применяемой по объекту:

$$W_i = 1 - (1 - W)^i, \quad (1)$$

где: W_i – вероятность поражения цели при атаках i средств;

W – вероятность поражения цели одним боевым средством;

i – число независимых атакующих боевых средств.

Для проведения расчётов определим условное значение количества крылатых ракет, применяемых по объекту. Усредняя значения, представленные в исходных данных, (от 8 – 10 до 15 – 20) получаем показатель от 11,5 до 15 единиц. Средний условный показатель составит $\frac{26,5}{2} = 13,25$. Вполне естественно, что количество ракет может быть только целочисленным значением, но для проведения расчётов применим полученный результат.

Для обоснования количественных характеристик определим показатели уничтожения целей для двух вариантов использования комплекса «Панцирь – С1». В первом случае атаку крылатых ракет отражает один комплекс, во втором случае – два комплекса.

Для каждого варианта:

среднее число атак комплекса будет составлять:

$$i = \frac{N_n}{N_{кр}}, \quad (2)$$

где: N_n – количество ракет, атакующих цели, ед.;

$N_{кр}$ – количество целей, ед.

Таким образом, для первого варианта

$$i_1 = \frac{12}{13,25} = 0,906,$$

для второго варианта

$$i_2 = \frac{24}{13,25} = 1,811.$$

Определим среднее значение вероятности поражения крылатой ракеты. Для первого варианта $W_{нопл}$ составит:

$$W_{нопл} = 1 - (1 - 0,825)^{0,906} = 0,794.$$

При условии атаки на объект принятого количества крылатых ракет (13,25) следует ожидать, что к цели прорвётся 2,73 ≈ 3 крылатых ракеты. С учётом приведённых характеристик головных частей ракет следует ожидать, что они смогут нанести существенный ущерб инфраструктуре объекта.

Рассмотрим второй вариант, когда применяется два комплекса системы типа «Панцирь – С1». Для данного варианта W_{nop2} составит:

$$W_{nop2} = 1 - (1 - 0,825)^{1,811} = 0,957.$$

Оценим количественные показатели по возможности уничтожения прорывающихся крылатых ракет к целям, расположенным на критически важном объекте:

$$N_y = 13,25 \cdot 0,957 = 12,68 \text{ ед.}$$

Тогда ожидаемое количество ракет, достигающих цели составит:

$$13,25 - 12,68 = 0,57 \text{ ед.}$$

Следовательно, при заданных параметрах и показателях с определённой вероятностью возможен прорыв не более одной крылатой ракеты.

Следует отметить, что для трёх комплексов системы типа «Панцирь – С1» W_{nop3} составит 0,991, а количество прорвавшихся ракет – 0,12 ед., то есть – близко к нулевому результату.

Однако, приводя данные расчёты, следует чётко понимать, что затраты на приобретение и последующее содержание комплексов системы типа «Панцирь – С1» не должны ложиться слишком тяжким бременем на объекты экономики (хотя, вместе с тем, следует сказать, что предотвращённый ущерб, в случае начала войны, будет на несколько порядков больше, чем затраты на приобретение и содержание комплексов).

Наличие двух комплексов системы типа «Панцирь – С1» на каждом критически важном объекте, на наш взгляд, будет вполне достаточным условием сохранения его способности выполнять задачи по выпуску необходимой продукции. Для функционирования данных средств должны быть созданы запасы зенитных управляемых ракет и боеприпасов для пушечного вооружения. Кроме того, для выполнения задач по подвозу боеприпасов и восполнению убыли израсходованных ракет потребуются транспортно-заряжающая машина (ТЗМ). Общее количество личного состава комплексов не будет превышать более десяти человек (три человека на каждый из двух комплексов системы типа «Панцирь – С1», два человека – на ТЗМ, командир (начальник) подразделения и его заместитель).

Данная нагрузка не потребует значительных затрат для предприятия, на котором работает значительное количество персонала (не считая начальный этап, связанный с приобретением изделий и созданием запаса боеприпасов для них). Вполне возможно сократить несколько единиц «балласта», который всегда имеется на всех предприятиях любой формы собственности.

Наличие территориально распределённой группировки объектовых ПРО/ПВО позволит не только существенно повысить безопасность критически важных объектов, прикрыть населённые пункты от воздействия современных высокоточных средств вооружённой борьбы, но и повысить готовность и возможности гражданской обороны к решению задач по защите населения и территорий.

Для реализации подобной идеи потребуется объединить возможности не только государственных структур, но и предпринимательского сообщества. Приобретение более восьми тысяч комплексов системы типа «Панцирь – С1», более четырёх тысяч ТЗМ, ракет, боеприпасов к пушечному вооружению, оборудование мест хранения и районов размещения систем, затраты на горюче-смазочные материалы и проведение технического обслуживания, содержание личного состава – всё это потребует определённых финансовых затрат. Вместе с тем, создание подобной системы на критически важных объектах вполне оправдано, поскольку данные системы, помимо прикрытия КВО, будут обеспечивать ПРО/ПВО административных органов и органов управления.

Для реализации высказанной идеи потребуется определить функции системы, ответственной за реализацию данного вопроса. На наш взгляд, эта задача может быть возложена именно на структуры системы гражданской обороны, так как данный функционал будет в полной мере отвечать именно выполнению задач защиты населения и критически важных объектов экономики государства. Поскольку, помимо приобретения, содержания и хранения комплексов системы типа «Панцирь – С1» потребуется проводить обучение экипажей и руководящего состава, решать вопросы взаимодействия с министерствами, ведомствами и органами местного самоуправления, решать вопросы всестороннего обеспечения работы системы, включая обмен и получение различного рода информации, необходимой для выполнения задач, органы, уполномоченные для решения задач гражданской обороны, способны выполнить весь комплекс данных мероприятий и обеспечить качественное функционирование данной подсистемы.

В заключении хочется подчеркнуть, чтокрытие объектов комплексами системы типа «Панцирь – С1» позволит сохранить их работоспособность даже в условиях массированного применения противником современных высокоточных крылатых ракет. Исходя из того, что возможности противника также не безграничны, можно предположить, что реализация высказанного подхода позволит сохранить экономический и производственный потенциал страны, что обеспечит, в последующем, преимущество в наращивании военного потенциала государства. Также это будет способствовать решению задач гражданской обороны по предупреждению ущерба предприятиям промышленности и повышению их устойчивости к негативному воздействию поражающих факторов.

Литература

1. Буренок В. Готовность к технологической войне. Военно-промышленный курьер № 17 (535) 14-20 мая 2014 г., М.: ООО «Издательский дом «ВПК-Медиа». - 2014, 12 с.
2. Тарнаев А. Надёжной российской системы ВКО нет. Военно-промышленный курьер № 8 (526) 5-11 марта 2014 г., М.: ООО «Издательский дом «ВПК-Медиа». - 2014, 12 с.
3. Сивков К. Право на удар. Военно-промышленный курьер № 8 (526) 5-11 марта 2014 г., М.: ООО «Издательский дом «ВПК-Медиа». - 2014, 12 с.
4. Современные войны и гражданская оборона /Под общ. ред. С.К. Шойгу; МЧС России.- М.: ИПП» КУНА». - 2008, 296 с.
5. Барвиненко В. Война на опережение. Военно-промышленный курьер № 24 (590)1 – 7 июля 2015 г., М.: ООО «Издательский дом «ВПК-Медиа». - 2015, 12 с.
6. Сивков К. Русский глобальный удар. Военно-промышленный курьер № 2 (520) 22-28 января 2014 г., М.: ООО «Издательский дом «ВПК-Медиа». - 2014, 12 с.
7. Кетонов С. С «Гранатами» на «Томагавки». Военно-промышленный курьер № 30 (596) 12-18 августа 2015 г., М.: ООО «Издательский дом «ВПК-Медиа». - 2015, 12 с.

8. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2014 году» / - М.: МЧС России. ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). - 2015, 350 с.

9. Ануреев И.И., Татарченко А.Е. Применение математических методов в военном деле / М.: Воениздат. - 1967, 244 с.

Сведения об авторах

Дурнев Роман Александрович, - заместитель начальника ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), доцент, 121352, Москва, ул. Давыдовская, д. 7, тел. 8(499)995-56-98, тел. м. 8(903)2586716, rdurnev@rambler.ru

Мещеряков Евгений Михайлович, - ученый секретарь ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 121352, Москва, ул. Давыдовская, д. 7, тел. 8(495) 400-99-04, тел. м. 8(903)1716242, usi-vniigochs@mail.ru

УДК 621.039.58

СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ ТРЕТЬЕГО УРОВНЯ (ВАБ-3) ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

Доктор физ.-мат. наук *Р.В. Арутюнян*, кандидат физ.-мат. наук *В.А. Пантелеев*,
доктор техн. наук *М.Д. Сегаль*
Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН

Рассмотрены вопросы, связанные с состоянием разработки вероятностного анализа безопасности третьего уровня ВАБ-3 для объектов использования атомной энергии. Показано, что на сегодняшний день имеется ограниченное количество работ отечественных и зарубежных исследователей по этой тематике. Проведен анализ преимуществ при использовании ВАБ-3, методических проблем и перспектив развития. Обосновывается актуальность развития работ в России по совершенствованию методологического аппарата ВАБ-3.

Ключевые слова: атомная энергетика, безопасность, методология, аварийное планирование, вероятностный анализ безопасности, риск, ВАБ-3.

THE STATE OF DEVELOPMENT OF PROBABILISTIC SAFETY ANALYSIS OF THE THIRD LEVEL (PSA LEVEL 3) FOR NUCLEAR FACILITIES

Dr. (Phys.-Mat.) R.V. Arutyunian,
Ph.D. (Phys.-Mat.) V.A. Panteleev, Dr. (Tech.) M.D. Segal
Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences

Analysis of the current state of development of probabilistic safety analysis of the third level-3 PSA for nuclear facilities held. It is shown that today there are a limited number of works of domestic and foreign researchers on the subject of the PSA Level 3. An analysis of the advantages of PSA Level 3, methodological problems and prospects of development carried out. The importance of the work on improving the methodological apparatus of PSA-3 is shown.

Key words: nuclear energy, safety, emergency response, probabilistic safety analysis, risk, PSA Level 3.

После аварии на АЭС Фукусима-1 в марте 2011 г. в настоящее время в России и в мире значительно усилилась радиофобия, которая временно затихла в начале 21 века, когда было развеяно большинство мифов о радиологических последствиях аварии на Чернобыльской АЭС. Кроме того, надзорные и регулирующие органы, занимающие и до событий на АЭС Фукусима-1, достаточно жесткую позицию по отношению к атомной энергетике, усилили работу по совершенствованию требований к безопасности АЭС и повышению эффективности мер по защите населения при так называемых запроектных или тяжелых авариях, сопровождающихся выходом радиоактивных веществ в окружающую среду больше проектных пределов.

В этих условиях чрезвычайно важными становятся задачи научно-технического обеспечения принятых решений по проведению мер по защите населения и территорий.

К настоящему времени накоплен опыт анализа развития, протекания, ликвидации последствий, в том числе медицинских и радиологических для населения и окружающей среды тяжелых аварий на АЭС. К этим авариям относятся аварии на АЭС Три – Майл Айленд (США, 1979 г), на Чернобыльской АЭС (СССР, 1986 г.) и АЭС Фукусима-1 (Япония, 2011 г.).

Кроме того, имеются обширные материалы по двум крупным авариям с радиационным фактором на объектах использования атомной энергии, таких как авария на ПО Маяк (1957 г.) и Сибирском химическом комбинате (1993 г.).

Все вышеупомянутые аварии с радиационным фактором развивались при существенной неопределенности прогнозов о времени, мощности выбросов радиоактивных изотопов и возможных условий распространения выбросов в окружающей среде на момент выброса [1, 2, 3].

Поддержка принятия решений по защите населения и территорий без учета неопределенности условий развития аварии оказывается недостаточно обоснованной, а уровень реагирования по защите населения и территорий может быть как недостаточным, так и избыточным. В обоих случаях это приведет к снижению эффективности мероприятий и излишним материальным затратам.

Особенно важно развитие научно-технической поддержки принятия решений в начальный (острый) период аварии, который характеризуется наибольшей неопределенностью прогнозов последствий по сравнению с более поздними стадиями, а своевременное проведение обоснованных мероприятий по защите населения имеет наибольшую эффективность.

В настоящее время в отечественной практике используется подход основанный на программно-методическом обеспечении позволяющим оценить последствия и риски для ограниченного набора базовых (реперных) сценариев аварий на объектах использования атомной энергии (ОИАЭ), но при этом не учитываются неопределенностей условий развития аварий [4].

Согласно требованиям действующих нормативных документов на атомных станциях для проектируемых и эксплуатируемых объектов должны проводиться вероятностные анализы безопасности (ВАБ) двух уровней [6]:

- ВАБ АС уровня 1 (ВАБ-1 АС) — вероятностный анализ безопасности, содержанием которого является разработка вероятностной модели блока АС для определения финальных состояний с повреждением источников радиоактивности и оценки значений вероятностей их реализации.

- ВАБ АС уровня 2 (ВАБ-2 АС) — вероятностный анализ безопасности, содержанием которого является разработка вероятностной модели блока АС для определения финальных состояний с выбросом радиоактивных веществ в окружающую среду и оценки вероятности их реализации.

Таким образом ВАБ-1 и ВАБ-2 напрямую не дают оценок количественных характеристик риска для населения и территорий вокруг АС (или радиационно опасного объекта) от возможных аварий, а определяют только частотные характеристики финальных состояний с повреждением источников радиоактивности и выбросов радиоактивных веществ в окружающую среду. Определение количественных характеристик риска для населения территорий является задачей вероятностного анализа безопасности третьего уровня — ВАБ-3.

Важнейшей задачей повышения радиационной безопасности населения и окружающей среды является минимизация последствий аварии с радиационным фактором. Для практической реализации этой задачи необходимо заблаговременно иметь количественные характеристики необходимых сил и средств исходя из анализа риска для населения и окружающей среды, учитывающего вероятностный характер аварийных выбросов, условий распространения радиоактивных веществ на местности, реализации защитных мероприятий.

Вероятностный анализ безопасности третьего уровня ВАБ-3 и должен давать ответ на вопрос о количественных значениях уровня риска для населения при тяжелых авариях с учетом неопределенности многочисленных факторов, влияющих на эти параметры.

Необходимо отметить, что в документе МАГАТЭ [5] подчеркивается, что противоаварийное планирование, готовность, стратегию контрмер для защиты населения при аварии с выбросом радиоактивных веществ следует разрабатывать с использованием результатов ВАБ-3. Эти же результаты следует использовать для оценки эффективности планируемого противоаварийного реагирования.

Исходными данными для проведения ВАБ-3 являются результаты вероятностных анализов безопасности 1-го и 2-го уровней (ВАБ-1 и ВАБ-2).

Большинство специалистов в области ядерной и радиационной безопасности полагают, что уровень методологического обеспечения, глубина проработки, математический аппарат в области ВАБ-1 и ВАБ-2 значительно опережает аналогичный в области ВАБ-3. При этом такая тенденция характерна не только для России, но и для других стран, имеющих или развивающих атомную энергетику [7]. Особенно опережение в областях ВАБ-1 и ВАБ-2 проявляется в части практического применения при анализе безопасности существующих и строящихся АЭС. В настоящее время ВАБ-1 проведен для большинства действующих и строящихся энергоблоков в мире. Проведение ВАБ-1 является обязательным на законодательном уровне в большинстве стран. ВАБ-2 проведен для меньшего количества энергоблоков. Проведение ВАБ-2 является обязательным в меньшем количестве стран.

В настоящее время ВАБ-3 проведен только для малой части энергоблоков. Причем в ряде случаев ВАБ-3 проведен не для конкретных, а для типовых АЭС, что значительно снижает возможности практического применения результатов. Единственной страной,

где на законодательном уровне прямо предписывается проведение ВАБ-3 и такой анализ проведен для всех энергоблоков, является Канада.

Первые упоминания о разработке методологии и расчетных кодов применительно к задачам ВАБ-3 начали появляться в США и Великобритании в 1975 г. В 80-90 годы работы по созданию кодов шли в Германии, Евросоюзе и продолжаются в настоящее время [8-9].

В 1996 году МАГАТЭ выпустило документ *Procedures for Conducting Probabilistic Safety Assessments of Nuclear Power Plants (Level 3)*, Safety Series No. 50-P-12, IAEA, Vienna (1996), посвященный процедуре проведения вероятностного анализа безопасности третьего уровня для АЭС [10].

В документе подчеркивается важность выполнения работ по ВАБ-3, рассматриваются такие аспекты вероятностного анализа этого уровня, как базы данных по метеорологии, модели атмосферной дисперсии и процессов осаждения радионуклидов, дозовые нагрузки, обусловленные различными путями попадания радионуклидов в организм человека, в том числе при дыхании, употреблении продуктов и воды, подвергшихся радиоактивному загрязнению. Рассматриваются также в терминах риска процедуры оценки последствий для здоровья населения и экономические последствия.

Одним из важных разделов методологии ВАБ-3 является учет погодных условий, которые оказывают существенное влияние на конечный результат расчетов.

В 2004 году МАГАТЭ выпустило документ NS-G-1.2 “Оценка безопасности и независимая проверка для атомных электростанций”. Документ имеет статус руководства носящего рекомендательный характер [11].

В одном из разделов документа (4.200) сказано, что в результате выполнения процедуры ВАБ-3 следует дать оценку индивидуальному риску смерти для населения, проживающего вблизи площадки, а также рассмотреть различные внешние последствия, включая ранние и поздние последствия для здоровья населения, а так же учесть другие экономические последствия.

Что касается вопроса о метеорологических данных, то в документе рекомендуется основывать выбор этих данных на многолетней статистике и учитывать направление и скорость ветра, категорию устойчивости атмосферы.

Важно отметить, что при противоаварийном планировании и оценке готовности следует использовать результаты ВАБ-3. Правда в разделе 4.207 делается оговорка, что стратегия контрмер вырабатывается с использованием результатов ВАБ-3, “если таковые имеются”.

Необходимо отметить, что до аварии на АЭС Фукусима-1 работы по развитию методологии ВАБ-3 проводились, не слишком интенсивно, хотя практическую значимость этих работ никто из специалистов не оспаривал. Усилия разработчиков в области ядерной и радиационной безопасности были направлены в основном на усовершенствование кодов для проведения ВАБ-1 и ВАБ-2. После тяжелой аварии на АЭС Фукусима-1 значительно возрос интерес у специалистов и к развитию методологии ВАБ-3 и к ее внедрению в проектные и разрешительные процедуры.

В послефукусимский период под эгидой МАГАТЭ был проведен ряд технических семинаров, посвященных проблематике ВАБ-3.

В материалах семинара, прошедшего в июле 2012 г. (*The Current State of Level 3 PSA* от июля 2012 г.), [12] подготовленных Исследовательским центром по ядерной безопасности Японского агентства по атомной энергии, было отмечено, что состояние внедрения ВАБ-3 сильно ограничено по сравнению с ВАБ-1 и ВАБ-2, при этом в отдельных случаях и отдельных странах попытки внедрения начались еще от 10 до 20 лет тому назад, но, тем не менее, в руководящих документах по безопасности нет прямых требований о проведении ВАБ-3, в отличие от ВАБ-1 и ВАБ-2.

В настоящее время только в одной стране мира (Канаде), требуется проведение ВАБ-3 для всех АЭС на законодательном уровне (проведен ВАБ-3 для 20 энергоблоков).

В Швеции, Нидерландах, Корее, Великобритании, ЮАР были проведены ВАБ-3 нескольких АЭС, результаты которых использовались в процессе лицензирования в качестве одной из составляющих риск-информированного подхода принятия решений (в том числе при взаимодействии с общественностью).

В Японии и США ВАБ-3 были проведены для нескольких типовых АЭС.

Что касается методологии, то отмечается, что документ МАГАТЭ 1996 года должен быть улучшен с учетом уроков Фукусимы и, что некоторые коды признаны устаревшими, поскольку появились новые сведения, как в базах данных, так и базах знаний.

Важно отметить, что, по мнению участников семинара, ВАБ-3 не получил широкого распространения из-за пробелов в законодательстве. Хотя первые расчетные программы в рамках методологии ВАБ-3 начали появляться в США и Великобритании еще в середине семидесятых годов, о чем упоминалось выше.

На сегодняшний день в рамках работ по ВАБ -3 в ряде европейских стран разработаны коды - ARANO (Финляндия), CONDOR (Великобритания), COSYMA (Германия и Великобритания), LENA (Швеция), MACCS (США), OSCAAR (Япония) [13].

Необходимо отметить, что результаты сравнения численных модельных экспериментов в целом показали удовлетворительное совпадение результатов для большинства разработанных кодов с учетом общего масштаба неопределенности полученных результатов.

Что касается вопросов разработки и применения методологии ВАБ-3 в США, то можно отметить, что еще в 1975 году в документе “Исследование реакторной безопасности WASH-1400” [8] обозначались подходы к проведению вероятностного анализа безопасности, в том числе третьего уровня.

Начиная с 1982 года Комиссией по ядерному регулированию США были выпущены документы, содержащие рекомендации по проведению вероятностного анализа безопасности, а также результаты оценок риска в том числе “Техническое руководство для выбора площадки” NUREG/CR-2239, “Риск тяжелой аварии” (NUREG-1150), “Рекомендации по защитным действиям (PAR)” (NUREG/CR-6953, vol. 1, 2007), “Состояние анализа последствий реакторных аварий” (NUREG/CR-7110, vol. 1 and 2, 2013) и ряд других, что указывает на несомненный интерес со стороны регулирующих и надзорных органов и практическую значимость работ по развитию ВАБ-3.

В документах подчеркивалось, что внедрение методологии ВАБ-3 необходимо как для установления полного охвата целей безопасности, так для выработки рекомендаций по достижению этих целей.

Кроме того, применение ВАБ-3 в промышленности позволит оптимизировать стратегию управления тяжелыми авариями, усовершенствовать аварийные планы и их исполнение, установить пределы финансовой ответственности, сравнению рисков от различных технологий, сравнение вариантов размещения АЭС и противоаварийных планов.

В этой связи необходимо отметить документ, разрабатываемый Американским ядерным обществом и Американским обществом инженеров-механиков, “Radiological Accident Off-site Consequence Analysis (Level-3 PRA) to Support Nuclear Installation Applications” – ANS/ASME-58.25 [14]. Этот документ является стандартом, позволяющим принимать решения, связанные с последствиями аварий и инцидентов, включая попадание радиоактивных веществ в окружающую среду, на основе анализа риска. При этом подчеркивается некая универсальность стандарта, которая позволяет оценивать риск для населения и окружающей среды не только при авариях на реакторах, но и при запуске космического корабля на Марс, в составе энергетической установки которого находятся радиоактивные изотопы, а также, что важно, оценивать риск для населения и окружающей среды при авариях на неядерных промышленных установках (например, в нефтехимии).

мической и нефтеперерабатывающих отраслях). Предварительная версия документа была подготовлена в 2004 г. и в настоящее время работа продолжается. После 2004 года темп работ снизился, но после аварии на Фукусиме в 2011 г. работы получили новых толчок.

В МАГАТЭ в июле 2012 г. [15] и ноябре 2013 года [16] состоялись семинары, посвященные работам в области ВАБ-3. Семинары носили в основном консультативный характер. Эти семинары были организованы специально для оценки уровня работ по ВАБ-3 по сравнению с процедурным руководством, которое было выпущено МАГАТЭ в 1996 г. По результатам рабочих встреч было принято решение о необходимости разработки нового руководства по ВАБ-3 в форме TECDOC (IAEA Technical Document).

Обсуждался пилотный проект Финляндии и Швеции. Финская часть проекта началась в 2013 году, Шведская стартовала в 2014 г.

Интересно отметить, что в пилотном проекте Финляндии начатом в 2013 году одной из целей развития методологии ВАБ-3 является возможность учета для оценки рисков множественных источников при различных временах и различных физических характеристиках источников (как, например, в случае аварии на АЭС Фукусима-1, когда источником было несколько частично разрушенных реакторов и хранилищ отработанного ядерного топлива).

Результаты семинаров, посвященных проблематике ВАБ-3, которые проводились в 2013-2014 гг. NKS, Nordic Nuclear Safety Research прошедшие с участием Lloid*s Register Consulting, VTT Technical Research Centre of Finland и др. [17-18] можно охарактеризовать несомненным повышением интереса к проблематике ВАБ-3 и вопросам внедрения методологии на уровне руководящих документов.

Обсуждался широкий круг вопросов, связанных с работами по ВАБ-3 в разных странах, состоянием работ, методическим и программным обеспечением, внедрением ВАБ-3, рассматривались также вопросы приемлемого риска и практика применения критериев индивидуального и коллективного рисков, вопросы «остаточного риска» при сверх тяжелых авариях, которыми можно пренебречь в законодательстве некоторых стран.

Большинство специалистов признают, что одним из важных разделов методологии ВАБ-3 является учет вероятностной природы погодных условий, которые оказывают существенное влияние на конечный результат расчетов, поскольку неизвестно при каких именно погодных условиях произойдет тяжелая авария.

Прежде, чем перейти к рассмотрению этих работ отметим заявление о политике Ростехнадзора по применению ВАБ для атомных станций, опубликованное в 2012 г. [19] Заявление о политике по применению вероятностного анализа безопасности и риск-информативных методов для атомных станций. Ядерная и радиационная безопасность, № 63, 2012. В документе подчеркивается необходимость углубленного и широкого использования ВАБ и риск-информативных методов, как комплекс инструментов оценки безопасности блоков атомных станций. В заявлении подчеркивается, что Ростехнадзор ожидает, что эксплуатирующая организация продолжит выполнение полномасштабных ВАБ-1 и ВАБ-2 при выработке решений, связанных с безопасностью блоков АС.

В период с 24 марта по 4 апреля 2014 г. [20] в Вене состоялось 6-е совещание по рассмотрению Конвенции по ядерной безопасности. В докладе Российской Федерации - статья 14 (1/3) сообщалось, что вероятностный анализ второго уровня (ВАБ-2) разработан для всех действующих АЭС с реактором ВВЭР-1000, разработка ВАБ-2 для энергоблоков с канальными и быстрыми реакторами в настоящее время запланирована на 2018 г., разработка первого этапа ВАБ-3 для Смоленской АЭС запланирована на 2018 г.

Относительно исследований, выполненных в России, можно отметить, что в литературе содержится весьма ограниченное количество работ, посвященных ВАБ-3 [21-23].

Отдельно следует отметить, что в Беларуси ведутся работы по ВАБ-3 в ГНУ «ОИЭЯИ-СОСНЫ» НАН Беларуси [24].

Таким образом, на основании изучения зарубежной и отечественной литературы, посвященной проблематике ВАБ-3 для объектов использования атомной энергии, можно сделать некоторые выводы.

В обществе существует достаточно сильное противодействие развитию атомной энергетики, особенно после аварии на АЭС Фукусима-1.

Выше упоминалось, что после этой аварии значительно возрос интерес к развитию методологии ВАБ-3 и к ее последующему внедрению не только в проектные и разрешительные процедуры, но и в систему аварийного реагирования. Это обусловлено тем обстоятельством, что в проекте АЭС ФУКУСИМА-1 отсутствовали решения по обеспечению безопасной эксплуатации в случае высоты волн цунами выше 6 метров, что привело к потере важнейшей функции системы безопасности – длительному охлаждению активной зоны после останова реакторов на трех энергоблоках аварийной АЭС.

Кроме того, отсутствовали реалистичные планы аварийного реагирования и управления АЭС при сценарии перехода в тяжелую аварию даже на одном из блоков, что привело к ошибочным действиям лиц, принимающих решения и избыточности аварийного реагирования при возникновении тяжелой аварии на нескольких блоках. Очевидно, что своевременное проведение ВАБ-3 на междисциплинарном уровне для конкретных условий размещения и функционирования энергоблоков АЭС окажет существенную поддержку, как по принятию проектных решений, направленных на обеспечение безопасности, так и системе готовности к реализации адекватных мер реагирования для преодоления последствий радиационных аварий.

Результаты ВАБ-3 дают возможность довести до населения объективную количественную, а не эмоциональную информацию о возможных рисках при авариях на АЭС, что позволит не только снизить социальную напряженность в обществе, связанной с угрозами аварий, но и увеличить эффективность затрат на повышение безопасности населения и территорий за счет оптимизации ресурсов, направляемых на предупреждение и ликвидацию последствий чрезвычайных ситуаций радиационного характера.

Результаты ВАБ-3 могут быть использованы при разработке стратегии развития регионов и эффективности принятия решений по размещению АЭС и других объектов использования атомной энергии с точки зрения снижения уровня создаваемых рисков.

В заключении можно сделать вывод, что проведение ВАБ-3 на объектах использования атомной энергии позволит увеличить степень обоснованности принятия решений по следующим направлениям:

- сопоставление рисков от различных технологий с использованием общих количественных критериев приемлемости риска;
- сравнение рисков от ОИАЭ с существующими в обществе рисками по общепринятым критериям;
- коммуникация между ядерной отраслью, надзорными органами, общественностью, страховыми компаниями;
- размещение ОИАЭ с учетом неопределенностей, присущих тяжелым запроектным авариям;
- аварийное планирование при запроектных авариях и повышение готовности к действиям при крупных авариях на ОИАЭ.

При этом необходимо выделить следующие основные методические препятствия по практическому применению ВАБ-3:

- междисциплинарный характер методологии;
- большие неопределенности результатов оценок;
- размытость вопросов критериев приемлемости рисков при особо тяжелых авариях, а так же близкие к ним вопрос «остаточного риска» (т.е. риска, которым можно пренебречь);

- реально имеющиеся результаты ВАБ-1 и ВАБ-2 часто требуют доработки для практического использования в ВАБ-3;

- большие затраты ресурсов на проведения ВАБ-3.

Таким образом, в мире признается важность и необходимость проведения научно-исследовательских работ в области создания системы вероятностного анализа третьего уровня ВАБ-3, над развитием методологии работает значительное количество научных коллективах в странах ЕС, США и Японии, но на сегодняшний день в этой области не достигнут уровень развития ВАБ-1 и ВАБ-2. Большинство исследователей, работающих в этой области, констатируют тот факт, что в нормативных документах и рекомендациях регулирующих органов не содержится требований проведения ВАБ-3 при анализе безопасности АЭС.

Нельзя не отметить, что до последнего времени усилия разработчиков в области радиационной безопасности были сосредоточены, в основном, на технических средствах повышения безопасности реакторных установок, таких, как, например усовершенствованные систем управления и защиты, систем аварийного расхолаживания, системы локализации расплава, двойные гермооболочки и т.д. При этом активно развивалось и применялось взаимодополнение детерминистских и вероятностных методов.

Вопросы же, связанные с проблемами аварийного реагирования рассматривались, и во многом продолжают рассматриваться, как, прежде всего организационно-технические, основанные в целом на детерминистских подходах и не нуждающиеся в фундаментальной научной проработке с использованием ВАБ. Но, как показывает реальный практический опыт аварийного реагирования, только серьезная научная проработка и анализ последствий и рисков аварий на основе ВАБ-3 позволит выйти на качественно новый уровень решения проблем радиационной безопасности, поскольку позволит избежать избыточности аварийного реагирования и оптимизировать затраты на предупреждение и ликвидацию радиационных аварий.

Что касается работ по ВАБ-3, проводимых в Российской Федерации, то кроме уже упоминавшихся работ, в ИБРАЭ РАН ведутся перспективные исследования по созданию фундаментальных основ для решения задач ВАБ-3 и разработки прототипов специального программного обеспечения ВАБ-3.

Литература

1. Новиков И.И., Кружилин Г.Н. Уроки аварии реактора PWR на АЭС Три – Майл-Айленд в США в 1979 г. // Электрические станции. - 1999, № 6, с 29-35.
2. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры. Под ред. Л.А. Ильина и В.А. Губанова. – М., ИздАТ. - 2001, -752 с.
3. Авария на АЭС “Фукусима-1” :Опыт реагирования и уроки. Под ред. Л.А. Большова.- М., Наука. - 2013, 247 с.
4. РБ-053-10. Положение о повышении точности прогностических оценок радиационных характеристик радиоактивного загрязнения окружающей среды и дозовых нагрузок на персонал и население. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. Приказ № 465 от 8 июня 2010 года.
5. МАГАТЭ, “Оценка безопасности и независимая проверка для атомных электростанций” NS-G-1.2 за 2004 год.
6. РБ-032-04 «Основные рекомендации по выполнению вероятностного анализа безопасности атомных станций».
7. Арутюнян Р.В., Пантелеев В.А., Сегаль М.Д., Чернов С.Ю. и др. О значимости разработки методологического аппарата вероятностного анализа безопасности третьего уровня (ВАБ-3)

для объектов использования атомной энергии. //Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. - 2015, № 2, с. 91-99.

8. WASH-1400, Reactor Safety Study. An Assessment of Accident Risk in U.S. Commercial Nuclear Power Plants, USNRC. - 1975.

9. Addressing off-site consequence criteria using Level 3 PSA — Phase 1 Status Report. NKS-303. - 2014.

10. Procedures for Conducting Probabilistic Safety Assessments of Nuclear Power Plants (Level 3), Safety Series No. 50-P-12, IAEA, Vienna (1996).

11. МАГАТЭ, NS-G-1.2 “Оценка безопасности и независимая проверка для атомных электростанций”. - 2004.

12. Toshimitsu Homma. The Current State of Level 3 PSA от июля 2012 г., Document 3 , The 3rd Meeting, Working Group on Voluntary Efforts and Continuous, Improvement of Nuclear Safety, Advisory Committee for Natural Resources and Energy. - 2012.

13. European Commission. Probabilistic accident consequence assessment codes - Second international comparison. Technical Rep. EUR-15109-EN, CEC, Luxembourg. - 1993.

14. Radiological Accident Off-site Consequence Analysis (Level-3 PRA) to Support Nuclear Installation Applications” – ANS/ASME-58.25

15. Technical meeting on Level 3 PSA, IAEA Headquarters, Vienna, Austria, 2–6 July 2012

16. IAEA consultants meeting on Level 3 PSA. November 25-28, 2013

17. Addressing off-site consequence criteria using PSA Level 3 - Enhanced Scoping Study NPSAG/NKS Level 3 PSA seminar. - 2014

18. Level 3 PSA from a software architecture point of view. VTT Technical Research Centre of Finland, Research Report VTT-R-01071-13

19. Заявление о политике по применению вероятностного анализа безопасности и риск-информативных методов для атомных станций. Ядерная и радиационная безопасность. – 2012, № 63.

20. 6-е Совещание стран участников Конвенции о ядерной безопасности. Доклад Российской Федерации, МАГАТЭ, Вена, 24 марта – 4 апреля 2014 г.

21. Mahura A., Baklanov A., Naumov A., Morozov S., *and est.* Assessment of Potential Risk for Kola’s Population from Radiological Impact of Accident on Spent Nuclear Fuel Facilities/ *CERUM Northern Studies Working Paper no. 21, 2001, 122 p.*

22. Наумов А.В. Изучение возможности снижения последствий тяжелой аварии на подземном объекте хранения отработавшего ядерного топлива. *Вестник МГТУ, том 12, №4, 2009 г. стр.720-723*

23. Исламов Р.Т., Деревянкин А.А., Жуков И.В. и др. Оценка риска для АЭС с реакторами типа РБМК и ВВЭР. Труды МФТИ. - 2014, том 6, № 1, с. 146-153.

24. Горбачева Н.В., Кулич Н.В. Разработка программных средств для проведения работ по независимой проверке результатов анализа безопасности Белорусской АЭС в части ВАБ-3/ 7-я МНТК «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР», 17-20 мая 2011 г. Подольск, ФГУП ОКБ «ГИДРОПРЕСС».

Сведения об авторах

Арутюнян Рафаэль Варназович - зам. директора ИБРАЭ РАН, (495) 955 22 09, e-mail: arut@ibrae.ac.ru;

Пантелеев Владимир Александрович - старший научный сотрудник ИБРАЭ РАН, (495) 955 22 14, e-mail: pant@ibrae.ac.ru;

Сегаль Михаил Давыдович - ведущий научный сотрудник ИБРАЭ РАН, тел. (495) 955 22 14, e-mail: nag@ibrae.ac.ru.

УДК 351.861

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ КОЛИЧЕСТВА ТЕХНОГЕННЫХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ, СВЯЗАННЫХ С ВЫБРОСОМ ОПАСНЫХ ХИМИЧЕСКИХ И РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Кандидат физ.-мат. наук *Л.Р. Борисова*
Финансовый университет при Правительстве РФ,
Московский физико-технический институт (государственный университет),
ФГБУ Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС РФ
(федеральный центр науки и высоких технологий)

Проанализированы данные Государственных докладов о состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера за 1999-2014 г.г. с использованием методов одномерной и многомерной статистики. Проведен статистический анализ, в результате которого установлен закон распределения ЧС, связанных с выбросом опасных химических и радиоактивных веществ

Ключевые слова: техногенная чрезвычайная ситуация, одномерная статистика, многомерная статистика, динамика, регрессионный анализ, теория вероятностей, коэффициент корреляции, опасные химические и радиоактивные вещества.

INVESTIGATION OF QUANTITY OF TECHNOGENIC EMERGENCY SITUATIONS WHICH DEALS WITH DANGER CHEMICAL AND RADIATION SUBSTANCE REJECTION

Ph.D. (Phys.-Mat.) *L.R. Borisova*
Financial University under the Government of the Russian Federation,
Moscow Institute of physics and technology (state University), Federal state institution
"All-Russian research Institute on problems of civil defense and emergency situations,
EMERCOM of Russia" (Federal centre for science and high technology)

This article based on analyzing data from regulatory acts and documents in population and territories protection from natural and technogenic emergency situations in the Russian Federation in 1999 – 2014 with application of univariate and multivariate statistic methods. The results of statistical analysis are finding the law of distribution of emergency, deals with danger chemical and radiation substance rejection.

Key words: technogenic emergency, univariate statistics, multivariate statistics, dynamics, regression analysis, probability theory, correlation coefficient, danger chemical and radiation substance.

Население России живет в условиях воздействия чрезвычайных ситуаций природного, техногенного, биолого-социального характера и нарастания угроз ЧС террористического характера. Особое внимание заслуживают техногенные ЧС, так как у них самый большой количественный показатель и они связаны с производственной деятельностью человека.

В ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория имени А.И. Войекова» по данным наблюдений в 252 городах, на 697 станциях сформирован Приоритетный список горо-

дов с наибольшим уровнем загрязнения атмосферного воздуха в 2014 году [1]. В список включены города с очень высоким уровнем загрязнения воздуха, для которых комплексный индекс загрязнения атмосферы равен или выше 14, учитывающий 5 загрязняющих веществ из полного перечня контролируемых в городе, вносящих наибольший вклад в уровень загрязнения. Все города с наибольшим уровнем загрязнения атмосферного воздуха расположены в Азиатской части России, которая характеризуется в 2014 году особо неблагоприятными для рассеивания примесей метеорологическими условиями. Во всех городах отмечены максимальные концентрации одного или нескольких веществ, превышающие 10 ПДК. Список включает 19 городов с общим числом жителей в них 5,2 млн. человек. В 2013 году Приоритетный список включал 30 городов с общим числом жителей в них 18,7 млн. человек. По сравнению с 2013 годом из Приоритетного списка исключены Дзержинск (включая Восточную промзону), Екатеринбург, Златоуст, Иваново, Краснотурьинск, Курган, Магнитогорск, Москва, Нерюнгри, Нижнекамск, Салехард, Саратов, Ханты-Мансийск и Чегдомын. Стоит отметить, что хотя г. Санкт-Петербург (второй по численности населения город Российской Федерации) не попал в список городов с наибольшим уровнем загрязнения воздуха химическими веществами, опасными для здоровья (формальдегид, бензапирен, окись азота, диоксид серы, сероуглерод, озон, этилбензол, диоксид серы, сажа, соляная кислота, фторид водорода, оксид углерода, взвешенные вещества) он относится к городам с высоким уровнем загрязнения воздуха [1].

Большинство потенциально опасных промышленных объектов страны построены и введены в эксплуатацию в 60–70 годы прошлого столетия. В целом износ их основных фондов, в первую очередь химико-технологического оборудования, является критическим или запредельным. По внешнему периметру промышленных городов, в том числе г. Санкт-Петербурга сформировались химически, радиационно и биологически опасные свалки и захоронения, в том числе бесхозные, не отвечающие требованиям экологической безопасности [2]. Фактически химическая, а также и биологическая защита населения выстраивается без учета исходных статистических данных, характеризующих экологическую обстановку, поэтому исследование динамики количества чрезвычайных ситуаций, связанных с выбросом аварийно опасных химических веществ (АХОВ) и радиоактивных веществ (РВ) в Российской Федерации, является актуальной задачей.

Стратегия снижения рисков является составной частью стратегии национальной безопасности России. В ее основе лежат национальные интересы, которые предусматривают такие задачи как защита личности, общества и государства от ЧС природного и техногенного характера. Причем стратегия строится на научном подходе, базирующемся на анализе и управлении риском. Она фокусируется на переносе центра тяжести усилий по защите населения с ликвидации последствий уже произошедших ЧС на их предупреждение, так как затраты на предупреждение ЧС являются, как правило, более эффективными уже в среднесрочной перспективе. В частности, одно из главных направлений в управлении рисками - система мониторинга, анализ риска и прогнозирование чрезвычайных ситуаций как основа деятельности по снижению рисков ЧС. Точность вычислений при анализе риска и прогнозировании очень важна, поэтому стоит уделять должное внимание исходным данным, используемым при расчетах [3, 4].

Статистика по ЧС природного и техногенного характера ведется на протяжении многих лет. Поиск закономерностей, установление законов распределения являются важными задачами, так как возникновение ЧС природного и техногенного характера, величина причиняемого ими ущерба во многом зависят от своевременности и точности их предсказания, а также от принятия предупредительных мер защиты. В связи с вышесказанным построение точных моделей, описывающих закономерности и взаимосвязи ЧС, является актуальной проблемой современной науки.

В настоящее время при анализе ЧС недостаточно применяются различные методы статистики и эконометрики, которые используют достижения таких наук как статистика и математика. Это обуславливает необходимость детального изучения методов вышеупомянутых наук в сфере анализа ЧС [5–9].

В данной работе описаны, и применены методы статистики для анализа техногенных ЧС, связанных с выбросом опасных химических и радиационных веществ, проведен статистический анализ данных ЧС, в результате которого установлен закон распределения ЧС.

Целью данной работы является проведение статистического анализа данных по ЧС техногенного характера за последние 16 лет (1999–2014 гг.).

Для достижения этой цели были использованы данные государственных докладов [10–22]. Были исследованы возможности применения методов статистики и эконометрики, проанализированы некоторые методы статистического анализа, и решены следующие задачи: нахождение закона распределения ЧС; проверка данных на автокорреляцию; кластеризация данных по годам.

В табл. 1 (Приложение) представлены используемые для исследования данные государственных докладов [10–22].

Техногенные ЧС, являясь случайными величинами, на которые влияет много разных факторов, согласно центральной предельной теореме теории вероятностей должны подчиняться нормальному закону распределения. Проще всего установить закон распределения изучаемой случайной величины по графикам квантилей [23]. Методом QQ-квантилей установим закон распределения количества ЧС с выбросом АХОВ и радиоактивных веществ.

Для построения графика квантилей сначала данные наблюдения располагают в порядке возрастания, получая вариационный ряд величин

$$X_1^* \leq X_2^* \leq \dots \leq X_n^*$$

Затем каждому i -му члену (и соответственно X_i^*) этой последовательности ставится в соответствие число $\frac{i}{n+1}$, оценивающее отвечающую ему вероятность $F(x_i)$. Вводится

предположение о некотором гипотетическом распределении и характеризуется функциональное соотношение между теоретической квантилью $Q(p)$ гипотетического распределения в зависимости от вычисляемого (по p) эмпирического значения. По функции теоретической квантили $Q(p)$ рассчитываются соответствующие эмпирические квантили $\hat{Q}_n(p_i) = Q_n(\frac{i}{n+1})$.

В заключение строится график (в виде возрастающей функции) оценочных квантилей X_i^* в зависимости от соответствующих эмпирических квантилей $(\frac{i}{n+1})$. Оценочные значения квантили будем отражать на вертикальной оси, эмпирические теоретические квантили – на горизонтальной. Тогда если принятая гипотеза о модели распределения оправдывается, то точки $(X_i^*, \hat{Q}_n(p_i))$ будут лежать вблизи прямой. В случае нормальной квантили строится график $((\frac{i}{n+1}), x_i^*)$.

На рис. 1 и 2 представлены нормальные квантили числа аварий с выбросом АХОВ и радиоактивных веществ соответственно.

Отметим также, что по нормальному закону распределены такие случайные величины, как общее количество ЧС, так и число взрывов (по данным табл. 1), рис. 3 и 4.

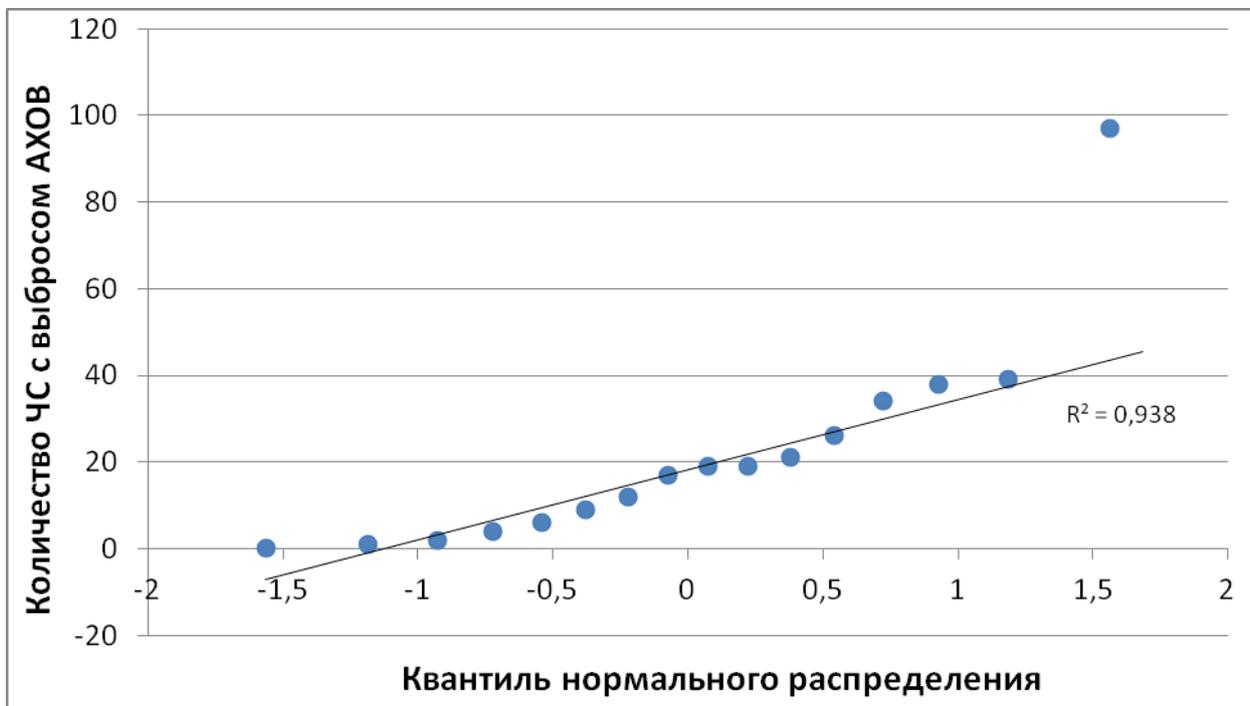


Рис.1. Экспериментальная и теоретическая (нормальная) квантили числа аварий с выбросом АХОВ за 2000-2014 г.г.

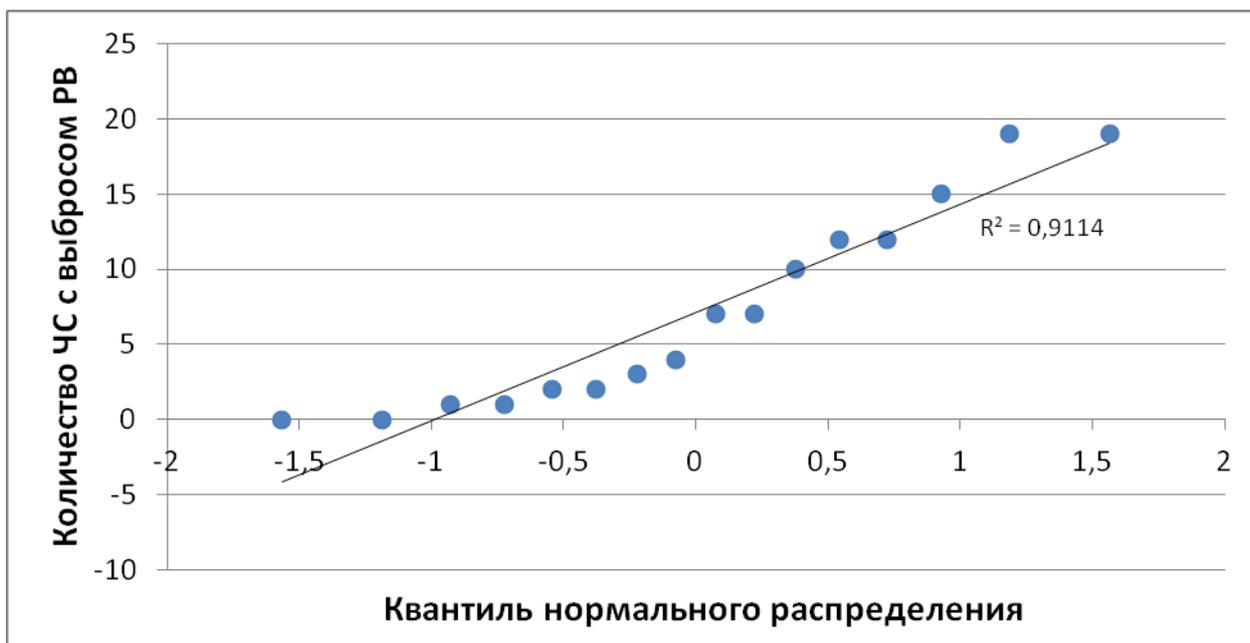


Рис.2. Экспериментальная и теоретическая (нормальная) квантили числа аварий с выбросом радиоактивных веществ за 1999-2014 г.г.

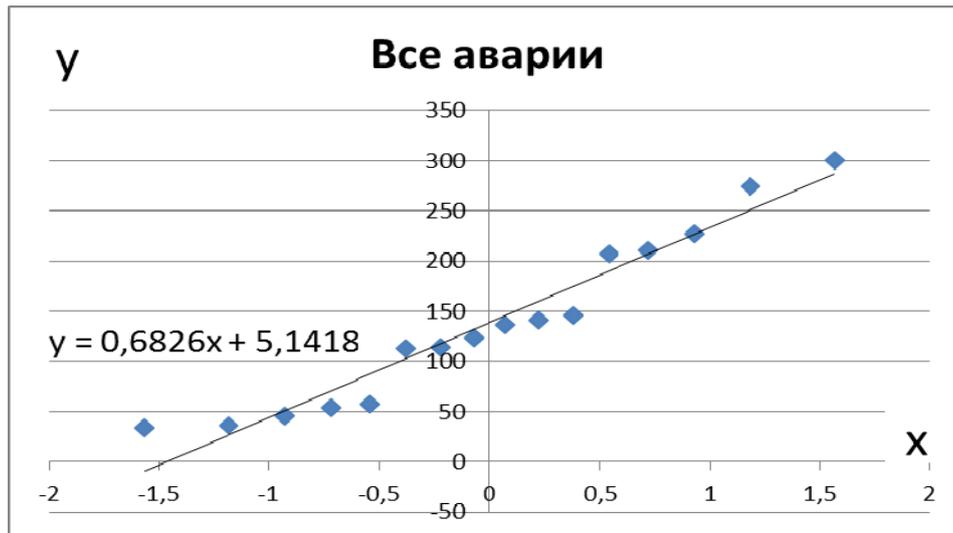


Рис. 3 Нормальная квантиль по всем техногенным ЧС

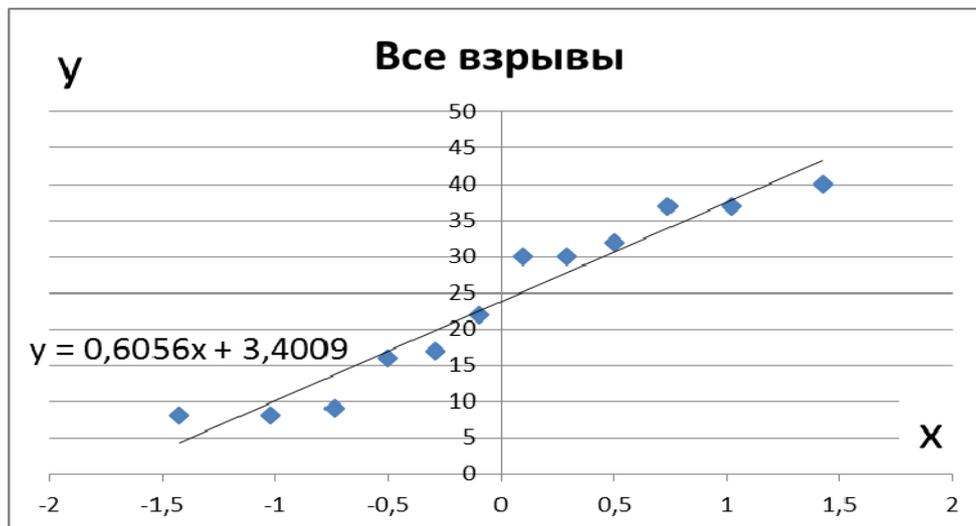


Рис.4. Нормальная квантиль по всем взрывам

Хорошо видно, что точки лежат на одной прямой, значит, выбранные ЧС подчиняются нормальному закону распределения. Коэффициенты корреляции между теоретическими и экспериментальными данными, указанные на рис. 1 и 2, также говорят в пользу установленного закона распределения. Таким образом, мы без сомнения можем применять различные методы статистики, которые строятся на гипотезе о случайности величин.

Установив нормальность распределения, исследуем временные ряды по числу аварий с выбросом АХОВ и радиоактивных веществ на наличие автокорреляций. Основным этапом в анализе временного ряда является проверка наличия тенденции развития динамического ряда [24]. Предположим, что техногенные ЧС, связанные с выбросом опасных химических и радиоактивных веществ, представляют собой стационарный процесс $y(t)$. Найдем автокорреляционную функцию этого процесса. Оценками этой функции являются выборочные коэффициенты автокорреляции $r(t, t-L)$, где t – это время, L – временной

лаг. Коррелограмма количества возникших ЧС представлена на рис. 5б и 6б. Пунктирными линиями показан интервал доверительной трубки при доверительной вероятности 0,95. Величина лага была выбрана от $L = 1$ до $L = 15$, что было несколько больше, чем визуально определяемый период колебания количества ЧС. Статистический критерий Дарбина – Уотсона для приведенных данных составляет $DW=0,265$, при $DW_{up} = 1,37$ и $DW_{low} = 1,1$ (для аварий с выбросом АХОВ), $DW=0,206$, при $DW_{up} = 1,37$ и $DW_{low} = 1,1$ (для аварий с выбросом радиоактивных веществ). Следовательно, можно предположить наличие положительной автокорреляции, по крайней мере, первого порядка. Проверка значимости коэффициентов автокорреляции по критерию Стьюдента на уровне значимости 0,05 показывает, что все коэффициенты значимо отличаются от нуля.

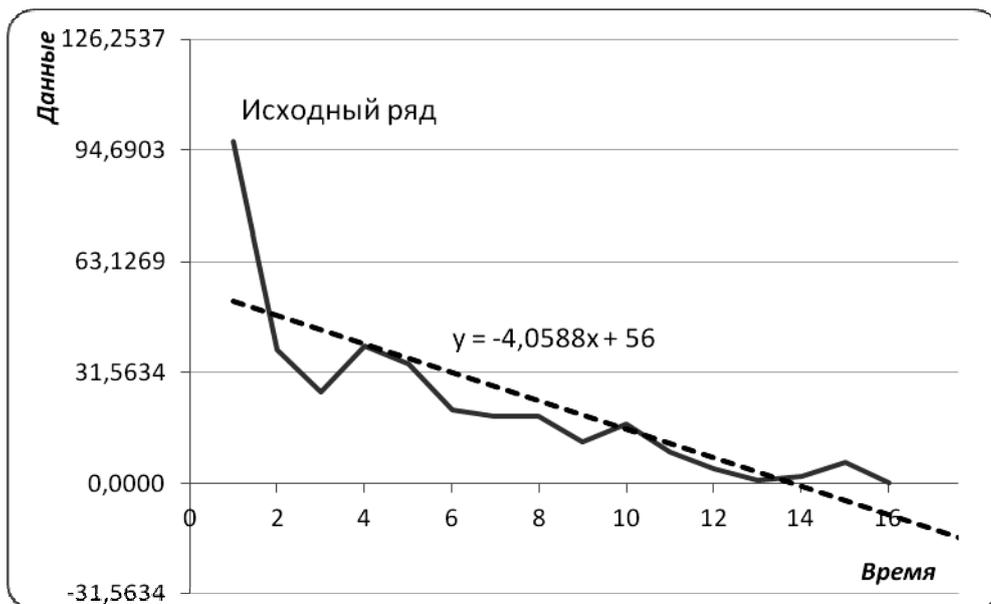


Рис. 5а. Динамика количества ЧС с выбросом АХОВ

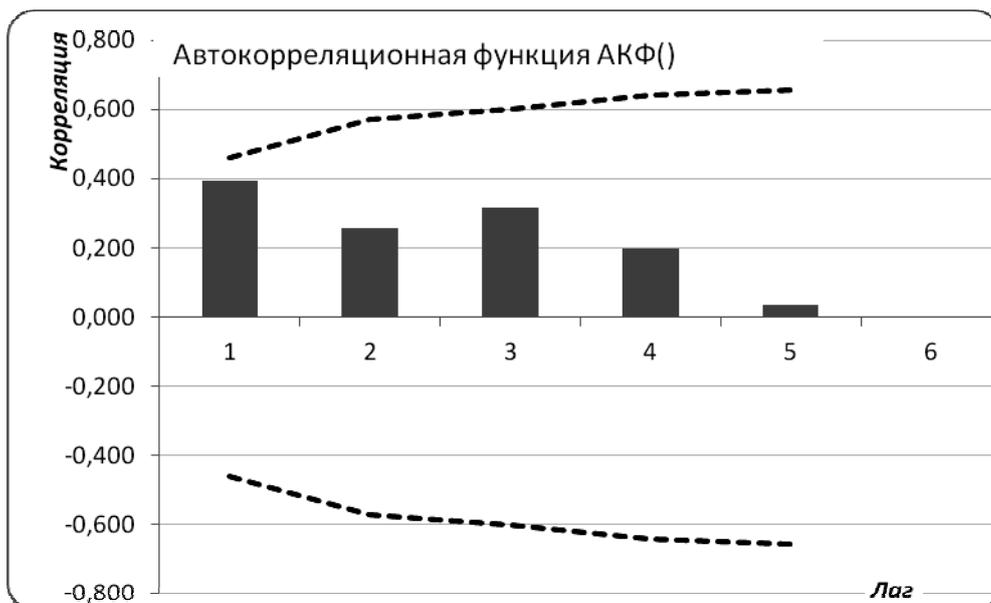


Рис. 5б. Коррелограмма количества ЧС, связанных с выбросом АХОВ

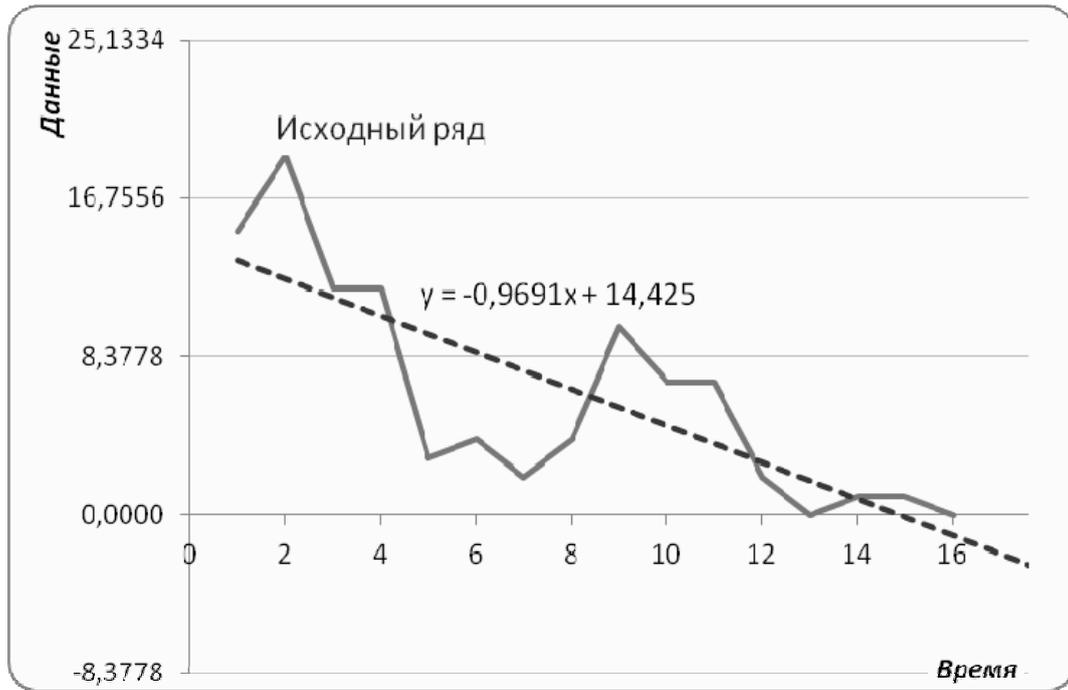


Рис. 6а. Динамика количества ЧС с выбросом АХОВ

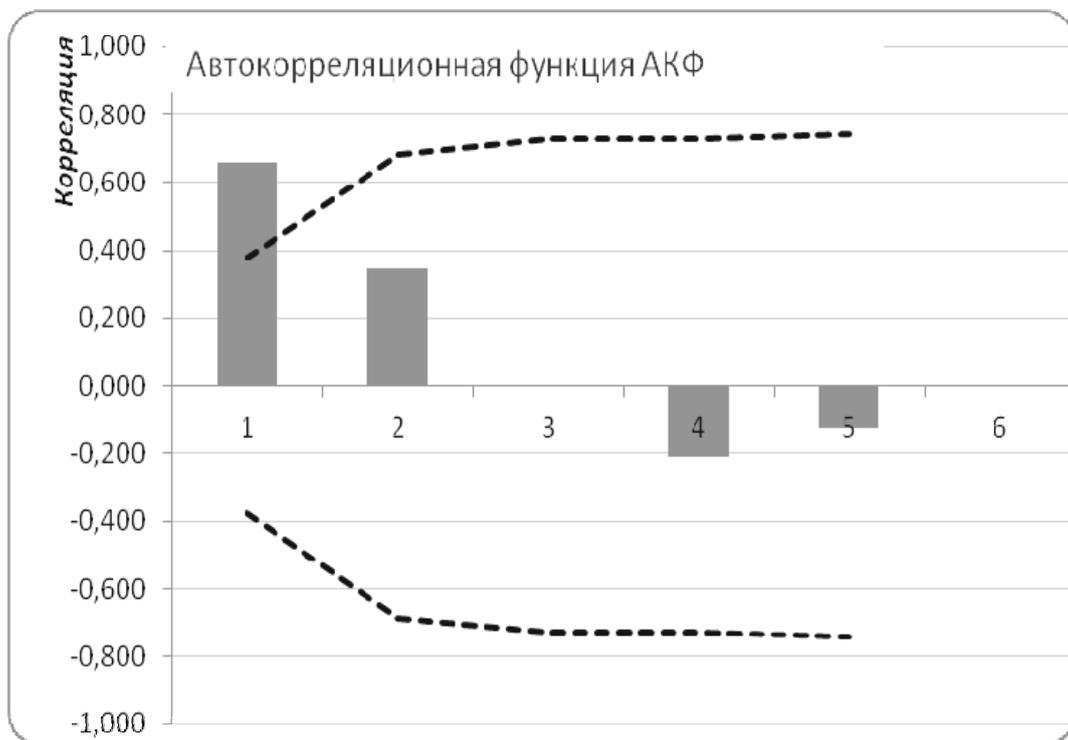


Рис. 6б. Коррелограмма количества ЧС, связанных с выбросом радиоактивных веществ

Задача кластерного анализа – разбиение данных по группам [25]. В связи с этим интересно посмотреть применение данного метода для анализа ЧС за 1999-2014 гг. Для этого воспользуемся методом кластерного анализа и с помощью Excel рассчитаем матрицу взаимных расстояний, которую представим в табл. 2.

Таблица 2

Матрица взаимных расстояний

Год	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
1999	0	0,38	0,88	0,96	1,14	1,68	1,28	1,57	1,40	1,48	2,14	3,10	3,15	2,65	3,15	3,38
2000	0,38	0	0,55	0,70	0,70	1,18	0,95	1,18	0,90	0,93	1,41	2,30	2,40	1,91	2,42	2,65
2001	0,88	0,55	0	0,35	0,36	0,65	0,64	0,53	0,54	0,48	0,66	1,45	1,55	1,17	1,61	1,62
2002	0,96	0,70	0,35	0	0,32	0,77	0,58	0,63	0,71	0,73	1,11	2,12	2,13	1,68	2,22	2,38
2003	1,14	0,70	0,36	0,32	0	0,27	0,35	0,40	0,71	0,47	0,81	1,30	1,33	1,00	1,50	1,59
2004	1,68	1,18	0,65	0,77	0,27	0	0,30	0,25	0,66	0,32	0,67	0,93	0,96	0,68	1,14	1,18
2005	1,28	0,95	0,64	0,58	0,35	0,30	0	0,21	0,28	0,27	0,63	1,23	1,13	0,76	1,22	1,32
2006	1,57	1,18	0,53	0,63	0,40	0,25	0,21	0	0,28	0,20	0,49	1,02	1,02	0,67	1,24	1,20
2007	1,40	0,90	0,54	0,71	0,71	0,66	0,28	0,28	0	0,22	0,34	1,07	1,05	0,72	1,10	1,16
2008	1,48	0,93	0,48	0,73	0,47	0,32	0,27	0,20	0,22	0	0,52	1,01	0,92	0,65	1,17	1,13
2009	2,14	1,41	0,66	1,11	0,81	0,67	0,63	0,49	0,34	0,52	0	0,46	0,56	0,37	0,51	0,64
2010	3,10	2,30	1,45	2,12	1,30	0,93	1,23	1,02	1,07	1,01	0,46	0	0,21	0,17	0,15	0,19
2011	3,15	2,40	1,55	2,13	1,33	0,96	1,13	1,02	1,05	0,92	0,56	0,21	0	0,11	0,17	0,18
2012	2,65	1,91	1,17	1,68	1,00	0,68	0,76	0,67	0,72	0,65	0,37	0,17	0,11	0	0,16	0,15
2013	3,15	2,42	1,61	2,22	1,50	1,14	1,22	1,24	1,10	1,17	0,51	0,15	0,17	0,16	0	0,11
2014	3,38	2,65	1,62	2,38	1,59	1,18	1,32	1,20	1,16	1,13	0,64	0,19	0,18	0,15	0,11	0

Далее вычисляя расстояния между текущими фрагментами дерева, можно сделать вывод, что текущие данные можно разбить на следующие кластеры по годам: 1 кластер: 2000, 2002, 2010, 2011, 2013, 2014; 2 кластер: 2001, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2012; 3 кластер: 1999 и 4 кластер: 2009. Разница между 1 и 2 кластером незначительная. Данные из 3 и 4 кластера подтверждают, что кризисные годы в экономике (1999 и 2009) выделяются из ряда наблюдений и по количеству ЧС. Именно по этой причине при построении теоретической квантили ЧС с выбросом АХОВ не учитывали экстремальное значение – 97 аварий – в 1999 году.

Таким образом, результатом проведенной работы является установление закона распределения ЧС техногенного характера, связанных с выбросом АХОВ и РВ, а также кластеризация данных по ЧС техногенного характера в зависимости от года. Можно сделать вывод, что неслучайным является снижение числа аварий с выбросом опасных химических и радиоактивных веществ, что свидетельствует о работе служб МЧС России, связанных с предупреждением ЧС.

Литература

1. <http://voeikovmgo.ru/ru/izmenenie-klimata-v-rossii-v-xxi-veke?id=681>
2. Обеспечение химической, радиационной и биологической безопасности населения Санкт-Петербурга Смирнов В.Г., Дмитриев Ю.О., Казнин Ю.Ф., Ливанов Г.А. / toxi.dyndns.org/Pannel1/download/9.pdf.
3. Акимов В.А., Лесных В.В., Радаев Н.Н. Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах - М.: Деловой Экспресс. - 2004. - 352 с.
4. Акимов В.А., Новиков В.Д., Радаев Н.Н. Природные и техногенные чрезвычайные ситуации: опасности, угрозы, риски - М.: ЗАО ФИД "Деловой Экспресс". - 2001 - 344 с.
5. Борисова Л.Р. Предложения по представлению данных о статистике чрезвычайных ситуаций. // Технологии гражданской безопасности. - 2010. Т.7. № 1-2. С. 160-161.
6. Борисова Л.Р. Анализ миграционной составляющей стратегических рисков России статистическими методами. // Технологии гражданской безопасности. - 2011. Т.8. № 1. С. 74-81.
7. Сарначев Д.И., Борисова Л.Р. Распознавание чрезвычайных ситуаций в местах массового пребывания людей. // Технологии гражданской безопасности. - 2013. Т.10. № 1.
8. Осипов А.Э., Борисова Л.Р. Применение методов одномерной и многомерной статистики для анализа чрезвычайных ситуаций. // «Технологии гражданской безопасности». - 2015. Т. 12. № 2. С. 50-53.
9. Железнов А.А., Борисова Л.Р., Востоков В.Ю. Методические подходы к организации систем обнаружения потенциально опасных веществ в местах массового пребывания людей. // «Технологии гражданской безопасности». - 2010. Т. 7. № 3.
10. Государственный доклад о состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2000 году. - М.: ВНИИ ГОЧС. – 2001, 154 с.
11. Государственный доклад о состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2001 году. - М.: ВНИИ ГОЧС. – 2002, 172 с.

12. Государственный доклад о состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2002 году. - М.: ФЦ ВНИИ ГОЧС. – 2003, 178 с.
13. Государственный доклад о состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2004 году. - М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). – 2005, 174 с.
14. Государственный доклад о состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2006 году. - М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). – 2007, 193 с.
15. Государственный доклад о состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2007 году. - М.: МЧС России; ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). – 2008, 247 с.
16. Государственный доклад о состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2008 году. - М.: МЧС России; ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). – 2009, 267 с.
17. Государственный доклад о состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2009 году. - М.: МЧС России; ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). – 2010, 240 с.
18. Государственный доклад о состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2010 году. - М.: МЧС России; ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). – 2011, 297 с.
19. Государственный доклад о состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2011 году. - М.: МЧС России; ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). – 2012, 315 с.
20. Государственный доклад о состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2012 году. - М.: МЧС России; ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). – 2013, 341 с.
21. Государственный доклад о состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2013 году. - М.: МЧС России; ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). - 2014 344 с.
22. Государственный доклад о состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2014 году. - М.: МЧС России; ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). – 2015, 350 с.
23. Быков А.А. Приложения асимптотической теории вероятностей экстремальных значений к прогнозированию риска экстремальных чрезвычайных ситуаций. //Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования, выпуск №1 том 2. – 2012, с. 53-63.
24. Кремер Н.Ш., Путко Б.А. Эконометрика. М. Юнити. – 2002, 311 с.
25. Алексеева Н.П. Прикладная статистика. Издательство С-Петербургского университета. - 2012 г. 127 С.

Сведения об авторе

Борисова Людмила Робертовна - доцент кафедры «Математика» Финансового университета при Правительстве РФ; старший научный сотрудник направления «Комплексной защиты» 2.3 НИЦ ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), доцент кафедры «Высоких технологий в обеспечении безопасности жизнедеятельности» МФТИ (ГУ). Тел. 8-916-245-71-27
E-mail: borisovalr@mail.ru

Приложение 1

Количество ЧС по годам [10-22]

Чрезвычайные ситуации по характеру и виду	Количество ЧС, ед.															
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Аварии, крушения грузовых и пассажирских поездов	10	7	19	12	7	6	11	15	20	11	23	16	11	14	17	21
Аварии грузовых и пассажирских судов	21	25	23	34	28	19	20	25	23	15	30	10	9	7	5	1
Авиационные катастрофы	29	16	36	40	31	35	29	40	27	30	29	30	47	38	31	39
ДТП с тяжкими последствиями**	98	91	62	93	88	116	139	180	142	114	85	83	88	109	75	87
Аварии на магистральных трубопроводах и внутрипромысловых нефтепроводах и газопроводах	46	38	45	55	48	55	47	40	21	25	24	8	4	15	9	5
Взрывы в зданиях, на коммуникациях, технологическом оборудовании промышленных и с/х объектах	79*	54*	24*	7*	18	11	18	7	13	7	3	4	4	6	2	7
Взрывы в зданиях и сооружениях жилого, социально-бытового и культурного назначения	288*	181*	90*	12*	22	19	12	25	24	30	19	5	4	10	6	10
Обнаружение (утрата) неразорвавшихся боеприпасов, взрывчатых веществ	42	15	18	27	17	22	29	23	22	25	5	1	1	0	0	0
Аварии с выбросом (угрозой выброса) АХОВ	97	38	26	39	34	21	19	19	12	17	9	4	1	2	6	0
Аварии с выбросом (угрозой выброса) РВ	15	19	12	12	3	4	2	4	10	7	7	2	0	1	1	0
Внезапное обрушение производственных зданий, сооружений, пород	4	7	10	9	9	9	7	9	7	12	4	1	2	3	0	3
Обрушение зданий и сооружений жилого, социально-бытового и культурного назначения	15	13	7	13	6	3	13	5	13	7	7	0	5	5	6	4
Аварии на электроэнергетических системах	22	21	16	15	12	8	13	15	17	20	10	6	8	9	4	4
Аварии на коммунальных системах жизнеобеспечения	29	24	13	31	19	11	18	13	14	10	6	6	1	7	4	4
Аварии на тепловых сетях в холодное время года	60	55	57	77	56	13	11	15	7	9	4	2	0	2	0	1
Все взрывы	0	0	0	0	40	30	30	32	37	37	22	9	8	16	8	17
Все аварии	300	227	211	275	207	137	141	146	124	114	113	54	34	57	46	36
Итого	488	369	344	457	398	352	388	435	372	339	265	178	185	228	166	186

* - с учетом пожаров

УДК 614.8; 629.725

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ТУШЕНИИ КРУПНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ В ЗОНЕ ДЕЙСТВИЙ АВИАЦИОННЫХ СИЛ И СРЕДСТВ

Доктор техн. наук *А.А. Таранцев*
Институт проблем транспорта РАН

Ю.И. Чикитов
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Рассмотрена возможность применения комплексов беспилотных летательных аппаратов в интересах тушения крупных лесных пожаров. Сформулированы требования к тактико-техническим характеристикам комплексов беспилотных летательных аппаратов в зависимости от способа их применения.

Ключевые слова: модель, лесной пожар, тушение, беспилотные летательные аппараты.

APPLICATION OF PILOTLESS AIRCRAFTS AT EXTINGUISHING OF LARGE FOREST FIRES IN ZONE OF ACTIONS OF AVIATION FORCES AND FACILITIES

Dr. (Tech.) *A.A. Tarantsev*
Institute of Transport Problems RAN

Y. Chikitov
University of Fire of Fire Service of Emercom of Russia

The issues of unmanned aerial vehicles (UAV) tactics for forest fire guard are reported. The requirements to the characteristics of the UAV depending on the model of their application are formulated.

Key words: model, unmanned aerial vehicles, fire, forest guard.

Ежегодно в России происходит более 18 тыс. лесных пожаров. Согласно статистическим данным, лесные пожары являются основной причиной повреждения и гибели лесов на значительных площадях [1]. Кроме того, они способны причинять не только материальный и экологический ущерб, но и представлять угрозу жизни и здоровью человека.

Так, лето 2010 г. стало рекордным по количеству природных пожаров на территории России. На фоне аномальной жары и засухи, возникающие лесные пожары распространились крайне быстро. Помимо лесов и полей пострадали около двухсот населенных пунктов, 62 человека погибли только от огня. Много людей пострадали от задымления и смога, который накрыл города, в т.ч. и российскую столицу [2].

Особенностью пожаров природного происхождения является то, что они могут возникать не только вблизи мест обитания и хозяйственной деятельности человека, но и на удаленных лесных территориях со слаборазвитой дорожной сетью. При этом необходимость в тушении таких лесных пожаров не снижается в силу того, что они могут пред-

ставлять экологическую угрозу, а также угрозу отдалённым населённым пунктам или объектам промышленности.

В настоящее время на таких территориях тушение лесных пожаров осуществляется с применением авиации и авиапожарных команд – это зоны авиационного и космического мониторинга (рис. 1). Обнаружение лесных пожаров осуществляется сугубо дистанционными методами: по данным космических снимков или в результате авиационного патрулирования.

При принятии решения о тушении к месту лесного пожара высылаются «лесной спецназ» – авиапожарная команда парашютно-десантной пожарной службы (ПДПС) (рис. 2). Как правило, люди и грузы доставляются самолетами Ан-2 или вертолетами Ми-8 по спусковым устройствам [3]. Летчик-наблюдатель при подлете к месту выброски с воздуха обследует лесной пожар (вид, площадь, направление движения, естественные и искусственные барьеры), составляет план тушения, и инструктирует команду. После доставки к месту проведения работ, руководство тушением лесного пожара принимает инструктор или опытный парашютист-пожарный. В его обязанности входит, в первую очередь, обеспечение безопасности личного состава группы, т.к. люди остаются один на один со стихией за сотни километров от ближайшего пункта помощи. Для этого руководитель тушения лесного пожара (РТЛП) обязан обследовать пожар и в течение всего периода его тушения владеть текущей обстановкой, чтобы в случае угрозы отвести команду в заранее определенное безопасное место.

Наиболее действенным методом удаленной разведки является применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [11]. Их основная задача на тушении лесных пожаров – обеспечить информационную поддержку РТЛП для определения тактических приемов и технических способов борьбы с огнем и оперативного реагирования. Это определение: направления распространения пожара, площади, вида, интенсивности, естественных препятствий для распространения огня, особенностей растительности леса, рельефа местности, водных источников, мест отхода лесопожарных подразделений в случае угрожающей опасности, а также контроль действий команд лесных пожарных в случае их дислокации на удаленных друг от друга участках [6].



Рис. 1. Схема деления лесного фонда России по зонам мониторинга



Рис. 2. Предполётный инструктаж [4]



Рис. 3. Десантирование [5]

Обычно на пожаре работают несколько команд. Одновременно могут быть задействованы до 100 групп, каждая на своем участке. Роль инструктора заключается в стратегическом управлении «театром боевых действий». Он контролирует, где находятся люди, следит за метеоусловиями, оценивает направление и скорость движения огня, дает распоряжения о доставке взрывчатых материалов, проверяет работу каждой группы [7]. РТЛП при выполнении своих обязанностей может в течение суток пройти в условиях тайги не один десяток километров [7].

Очевидно, что применение БПЛА на крупных лесных пожарах способно существенно облегчить работу РТЛП и повысить эффективность принимаемых им управленческих решений. Однако специфика работы в условиях автономности и доставка на пожар выброской с самолета (рис. 4) формируют определенные требования к БПЛА. В первую очередь, эти требования связаны с массогабаритными характеристиками, поскольку вес упаковки с парашютом при выброске грузов с самолетов Ан-24, Ан-2 не должен превышать 100 кг и размеры 120х60х60 см [8]. Например, с учетом веса грузового парашюта СПГ-68, равного 14 кг, вес контейнера с БПЛА должен составлять менее 86 кг [9]. Кроме того, при приземлении контейнер с БПЛА испытывает динамическую нагрузку при ударе о землю со скоростью до 5,5 м/с, которая не должна приводить к повреждениям и неисправностям аппарата [9].

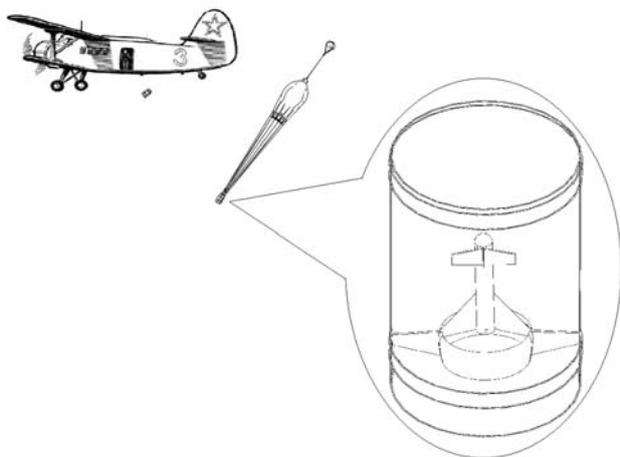


Рис. 4. Выброска контейнера БПЛА

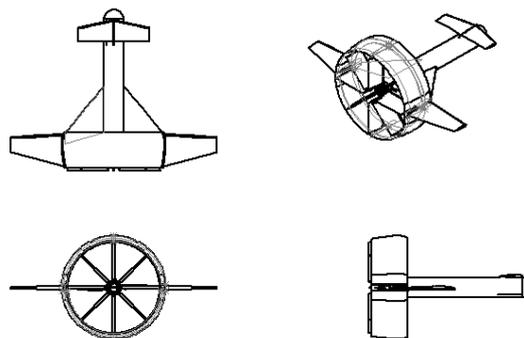


Рис. 5. Схема БПЛА гибридного типа

Автономная эксплуатация в лесу подразумевает отсутствие постоянного электричества для заряда аккумуляторных батарей, поэтому БПЛА должны быть оснащены двигателем внутреннего сгорания, а запас топлива и аккумуляторов для снабжения бортовых систем должен быть доставлен к месту пожаротушения с учетом планируемой длительности работ.

Как правило, лесным пожарам сопутствует жаркая и засушливая погода, что накладывает дополнительные требования к климатическому исполнению как БПЛА, так и наземной станции управления (НСУ).

БПЛА должен обладать высокой горизонтальной скоростью, а комплекс в целом – коротким временем предполетной подготовки. Поскольку зона оперативной деятельности комплекса – лесные территории, где довольно сложно найти большую, ровную взлетно-посадочную площадку для БПЛА, то необходим комплекс вертикального взлета и посадки (с лесных полей, дорог, пойм рек и т.д.). Дальность полета должна покрывать площадь крупного лесного пожара (к крупным относят пожары площадью свыше 200 Га [10]), но на практике эта площадь зачастую оказывается значительно больше.

Таким критериям отвечают комплексы БПЛА малого класса (до 30 км) гибридного типа с горизонтальной скоростью полета от 60 до 120 км/ч и осуществляющие вертикальный взлет/посадку (рис. 5) [11].

Узким местом при использовании БПЛА любого класса является обеспечение устойчивой радиосвязи для передачи управляющих команд и получения данных полезной нагрузки особенно в лесной зоне, где прямая видимость радиосигнала затенена кронами деревьев и рельефом местности. Исследования показали, что высота подъема антенны НСУ слабо влияет на дальность приема/передачи радиосигнала при условии, что отсутствуют препятствия на линии БПЛА-НСУ, поэтому достаточно установить ретранслятор с антенной выше уровня леса [12].

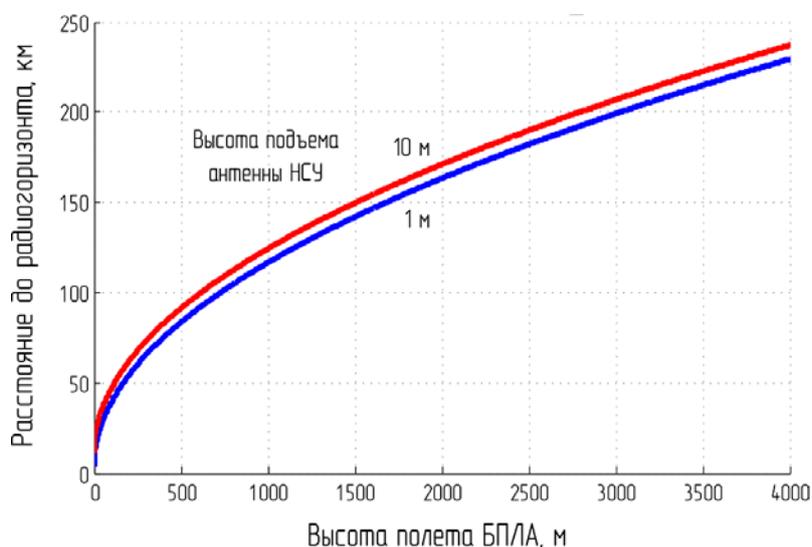


Рис. 6. Максимальная дальность связи в зависимости от высоты подъема антенн БПЛА и НСУ [12]



Рис. 7. Установка ретранслятора на крону дерева

Установку ретранслятора с антенной, исполненного в виде складной конструкции, на крону может осуществить сам БПЛА вертикального взлета и посадки при помощи прицепного устройства (рис. 7). Аппарат взлетает вертикально с прицепленной на тросе аппаратурой, набирает высоту, и позиционируется над участком леса с наибольшей плотностью де-

ревьев, затем снижается вертикально вниз, оператор подает команду на отцепление ретранслятора с антенной. Съём с дерева осуществляется в обратном порядке.

Время работы ретранслятора должно перекрывать длительность полета БПЛА, а для повышения надежности связи целесообразно включить в состав комплекса 2 ретранслятора: основной и резервный.

Наземная станция управления должна быть оснащена специализированным программным обеспечением, позволяющим автоматизировать работу РТЛП. Это автоматическое распознавание и нанесение на электронную карту элементов пожара (кромка, фронт, тыл, фланг, основное направление распространения), возможность нанесения основных элементов схемы тушения (решающее направление действий СиС, расстановка СиС, расположение штаба, место применения БПЛА и т.д.), ведение архива данных, получаемых с БПЛА.

Автоматизация процесса также позволит снизить сроки и повысить качество принимаемых управленческих решений и в конечном счете сократить время ликвидации крупных лесных пожаров.

Таким образом, рассмотренная модель с применением беспилотных летательных аппаратов позволяет выработать общие требования к комплексам БПЛА, необходимым при тушении крупных лесных пожаров в зоне авиационного применения СиС пожаротушения (табл.1).

Таблица 1

Общие требования к комплексам БПЛА

Характеристика	Целевой БПЛА	ретранслятор
Класс	малый	
Тип	гибридный	
Тип двигателя	двигатель внутреннего сгор-я	
Вес в контейнере, кг	до 86	
Скорость при падении, м/с	до 5,5	до 5,5
Количество	1	2
Радиус действия, км	до 30	до 30
Рабочая высота, м	200-800	10-15
Длительность полета/работы, ч	1-2	от 2
Скорость полета, км/ч	60-120	-
Вертикальный взлет/посадка	да	-
Полезная нагрузка	фото/видеокамера ИК-камера прицепное устройство	антенна ретранслятор
Блок автоматического управления	да	-
Дистанционное управление	да	-

Литература

1. Агеев С.В., Подрезов Ю.В., Виноградов А.В. Анализ современного состояния мониторинга лесных пожаров в Российской Федерации. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций». Выпуск №1.- М.: ВИНТИ. - 2015.
2. Лето-2014 грозит стать повторением 2010 года. // Национальное лесное агентство [Электронный ресурс]. URL: <http://nacles.ru/лето-2014-грозит-стать-повторением-2010-года/> (дата обращения: 15.03.2014).
3. Порядок организации и осуществления авиационных работ по охране и защите лесов.
4. Герои неба // Блог «Живой журнал». URL: <http://umm-adam.livejournal.com/109269.html> (дата обращения 04.12.2015).
5. "Лесной спецназ" парашютистов-пожарных высадился в Подмоскowie // Портал «Телеканал 360» URL:<http://360tv.ru/news/lesnoj-specnaz-parashjutistovpozharных-vysadilsja-v-podmoskove-23700/> (дата обращения 04.12.2015).
6. Повзик Я.С. Пожарная тактика: М.: ЗАО «СПЕЦТЕХНИКА». - 2004.
7. «Крылатые» борцы с огнем // Портал «Лесные вести» URL: <http://lesvesti.ru/print.php?id=6472>
8. Приложение к приказу МГА и Гослесхоза СССР от 3 июля 1984 года № 144 / 92 «Наставление по парашютно-десантным работам в авиационной охране лесов».
9. СПГ-68 // Официальный сайт ParAAvis URL: <http://www.paraavis.com/parashyuty-top/spg-68.html> (дата обращения 04.12.2015).
10. ГОСТ Р 22.1.09-99. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров.
11. Таранцев А.А., Чикитов Ю.И. Тактико-технические характеристики беспилотных летательных аппаратов вертикального взлета и посадки. Научно-аналитический журнал «Проблемы управления рисками в техносфере» № 1(29), 2014. - С. 68-72.
12. Боев Н.М. "Анализ радиолиний связи с беспилотными летательными аппаратами" URL: <http://uav-siberia.com/content/bpla-radio-communication-analyses> (дата обращения 17.12.2016).

Сведения об авторах

Таранцев Александр Алексеевич, - профессор, заведующий лабораторией Института проблем транспорта РАН. 199178, Санкт-Петербург, 12-я линия Васильевского острова, д.13. t__54@mail.ru.

Чикитов Юрий Иннокентьевич, - аспирант Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, тел. +7-921-8685034, chikitov@mail.ru

УДК 355.58 (О82)

ОСОБЕННОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ, РАЗВИТИЯ И БОРЬБЫ С ТОРФЯНЫМИ ПОЖАРАМИ НА БОЛОТАХ

Кандидат техн. наук *С.В. Агеев*,
доктор сельхоз. наук, кандидат техн. наук *Ю.В. Подрезов*,
А.С. Романов, А.В. Виноградов, Е.М. Рыкачёв
ФБГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ)

Московский физико-технический институт (государственный университет)

Проанализированы особенности возникновения, развития и борьбы с торфяными пожарами на болотах в Российской Федерации, включая причины возникновения и предупреждения указанных пожаров; способы, средства и технологии борьбы с ними.

Ключевые слова: атмосферные процессы; безопасность в чрезвычайных ситуациях; безопасность населения; безопасность объектов экономики; болото; искусственные осадки; лесной пожар, лесопожарная обстановка; лесоторфяные и торфяные пожары на болотах; обводнение; окапывание; провалы людей и техники; самовозгорание торфа; смог; степной пожар; торфяной пожар; торфяные стволы; тушение пожара.

FEATURES OF, DEVELOPMENT AND POVERTY PEAT FIRES IN THE SWAMP

Ph.D. (Tech.) *S.V. Ageev*,
Dr. of agricultural sciences, Ph.D (Tech), *J.V. Podrezov*,
A.S. Romanov, A.V. Vinogradov, E.M. Rykachev
FC VNII GOCHS EMERCOM of Russia
Moscow Institute of physics and technology (state University)

Analyzes the origin, development and suppression of fires on peat bogs in the Russian Federation, including the causes and prevention of these fires; methods, tools, and technologies to combat them.

Key words: atmospheric processes; security in emergencies; public safety; safety of economic entities; the swamp; artificial precipitation; forest fire, forest fire situation; leatherface and peat fires on bogs; flooding; digging; failures of people and equipment; spontaneous combustion of peat; smog; a Prairie fire, peat fire, peat trunks, fire fighting.

*Пахнет гарью.
Четыре недели
Торф сухой по болотам горит.
Даже птицы сегодня не пели,
И осина уже не дрожит.*

Анна Ахматова, 20 июля 1914 г.

Несмотря на внешнюю логическую несовместимость понятий «болото» и «огонь» во всем мире заболоченные земли периодически становятся очагами масштабных торфяных и лесоторфяных пожаров, причиняющих существенный ущерб окружающей природной

среде и населению. Необходимо подчеркнуть, что торфяные пожары вообще и, на болотах, в частности, имеют определенное сходство и с подземными пожарами, происходящими в угольных залежах, горящих иногда многие годы. По сути, осушенные болота, становясь источником добычи торфа, соответственно, становились и источниками торфяных пожаров. Такие пожары существенным образом влияют на безопасность населения, безопасность объектов экономики, защищенность окружающей природной среды.

В нашей стране заготовка торфа продолжается и в наши дни, хотя и значительно меньших масштабах, чем в 20-30-е годы двадцатого века, когда были построены специальные электростанции, работающие на торфе, и торф был также топливом для паровозов наравне с углем. Существуют и сейчас в ряде регионов европейской части территории России местные фабрики, которые выпускают «торфяные брикеты», заменяющие местному населению дрова. Используют торф и на садово-огороднических участках и ряде других сфер.

Болота являются источником образования торфа.

Действительно, в литературе под болотом понимается участок суши (или ландшафта), характеризующийся избыточным увлажнением, повышенной кислотностью и низкой плодородностью почвы, выходом на поверхность стоячих или проточных грунтовых вод, но без постоянного слоя воды на поверхности. Им свойственен затрудненный обмен газов. Болота обычно содержат от 87 до 97 % воды и лишь 3-13 % сухого вещества (торфа). Характерной особенностью болота является отложение на поверхности почвы неполно разложившегося органического вещества, превращающегося в дальнейшем в торф. При этом слой торфа в болотах не менее 30 см, а при меньшей мощности торфа или его отсутствии избыточно увлажненные территории называются заболоченными землями. Следует отметить, что первые болота на Земле образовались на стыке силура и девона 350 - 400 миллионов лет назад. Болота чаще всего встречаются в Северном полушарии, в лесах, а в России они распространены на севере Европейской части, в Западной Сибири, на Камчатке [1-18].

Болота возникают двумя основными путями:

- из-за заболачивания почвы,
- из-за зарастания водоёмов.

Необходимо отметить, что заболачивание может происходить по вине человека, например, при возведении дамб и плотин для прудов и водохранилищ, а также реже вызывается деятельностью бобров.

Постоянная избыточная влажность является непременным условием образования болот. Важнейшей причиной избыточной увлажнённости и образования болота является особенность рельефа - наличие низин, куда стекаются воды осадков и грунтовые воды; а на равнинных территориях отсутствие стока - все эти условия приводят к образованию торфа.

При этом на переувлажненных землях поселяется влаголюбивая растительность, приспособленная к недостатку кислорода и минерального питания, прежде всего - мох и др. В этих условиях происходит неполное разложение растительных остатков, которые, накапливаются и образуют торф. Заболачивание практически всегда сопровождается торфонакоплением.

По данным литературных источников, в зависимости от условий питания различают 3 типа болот:

- низинные (обычно связаны с выходами грунтовых вод или периодическим подтоплением озерами и реками),
- верховые (развиваются исключительно за счет атмосферных осадков, бедных минеральными веществами);
- переходные (имеют смешанный тип питания - грунтовый и атмосферный).

Для всех типов болот в зависимости от условий питания характерен процесс накопления торфа, который имеет различные свойства: количество органических и минеральных веществ, зольность, степень разложения и пр. Следует отметить, что собственно торфом, в отличие от «торфянистой почвы» он называется, когда количество неразложившейся органики в нем превышает 15%-20%. А в отдельные особо сухие годы или сезоны торфяная залежь может пересыхать настолько, что процессы деструкции начинают доминировать над процессами прирастания торфа. По краям территории торфяных болот в сухие климатические циклы такие болота и торфяные залежи исчезают по мере осушения [1,2, 12-18].

Самые благоприятные условия для накопления торфа существуют в лесах умеренного пояса, особенно Западной Сибири. Там в пределах лесоболотной зоны заболоченность составляет иногда более 50 % территории, а мощность торфа 8-10 м. Севернее и южнее лесной зоны мощность торфяной залежи сокращается: к северу вследствие уменьшения прироста растительной массы в условиях холодного климата, а к югу - из-за более интенсивного разложения растительных остатков в теплом климате [1,2, 12-18].

Следует отметить, что строение торфяной залежи болот, возникших на месте озер или суходолов, различно. Так, торфяники, образовавшиеся в результате заболачивания озер, имеют под слоем торфа озерный ил - сапропель. При заболачивании суши торф залегает непосредственно на минеральном грунте. Эти особенности важны при организации тушения пожаров на болотах.

Известно, что теплотворная способность торфа выше, чем у древесины. При этом его более глубокие слои при горении выделяют больше калорий, чем верхние, менее разложившиеся, что связано с возрастанием по мере разложения органического вещества в его составе битумов и гуминовых кислот. Повышение степени разложения торфа на 10% увеличивает его теплотворность на 100 - 400 калорий. Значит, чем более осушена торфяная залежь, развитие пожара будет идти тем интенсивнее, с более высокими температурами и выделением большого количества тепла. Но, в качестве важнейшей особенности следует отметить то, что даже незначительный пожар на болоте при высоком стоянии грунтовых вод обнажает нижние слои торфа, которые при повторном горении дают более высокие температуры горения и более тяжелые последствия [14, 16].

Анализ литературных источников и практики борьбы с лесоторфяными и торфяными пожарами на болотах, свидетельствуют о том, что к основным причинам возникновения указанных пожаров следует отнести:

- неправильное обращение с огнем;
- разряды молний;
- самовозгорание торфа, которое может происходить при температуре выше 50 градусов по Цельсию;
- развитие низового лесного пожара [1-18].

Во всем мире торфяные пожары на заболоченных землях периодически становятся источниками чрезвычайных ситуаций, причиняющих значительный ущерб населению, объектам экономики и окружающей природной среды. Особо тяжелые последствия возникают тогда, когда дымы торфяных и лесоторфяных пожаров достигают территории городов и других населенных пунктов, а огонь охватывает уникальные водноболотные угодья, уничтожая местообитания редких и исчезающих видов животных. Например, в Европе, где торфяные залежи активно осушались, и разрабатывались на протяжении многих столетий, практически каждое болото теперь взято под охрану. Так, во Франции преимущественно низинные торфяники занимают всего 0,1-0,2%, а в Италии - 0,2-0,3% площади страны. Исключение составляют Швеция и Финляндия, где общая заболоченность территории составляет 12% и 30% соответственно. Российская Федерация является безусловным лидером по площадям (торфяные площади в десятки раз больше,

чем во всех других странах мира), занятым торфяниками и по запасам торфа. В нашей стране торфяники занимают около 60 млн. га, в т.ч. более половины (34,1 млн. га) расположены в Западной Сибири, где сосредоточены самые крупные в мире массивы болот. Всего же по разным оценкам болота на Земле занимают около 3 000 тыс. км² (более 2% суши) [1,2, 12-18].

На каких же болотах возможны подземные (торфяные) пожары? Статистика показывает, что пожарам подвержены практически все типы болот. Они накапливают в надземной или подземной сферах большие запасы органического вещества, которое не успевает разлагаться из-за низких температур, обычно кислой среды и анаэробных условий (отсутствия кислорода). Однако, непосредственно торфяные пожары могут возникать только на болотах, имеющих мощные торфяные отложения. На болотах в отличие от лесов, основу горючего материала составляет торф, в котором депонирован углерод за многие тысячелетия. При этом и живые растения, несмотря на то, что подземный пожар чаще всего бывает без видимого огня, также становятся его материалом, лишаются корней и опоры, и постепенно погружаются в раскаленную толщу. Следует отметить, что сгорающего органического материала на единицу площади здесь обычно больше, чем в лесу.

Борьба с лесоторфяными и торфяными пожарами на болотах имеет ряд особенностей. Так, природные осадки на динамику развития таких пожаров влияют лишь на начальной стадии пожара или при малой мощности торфа. Когда огонь проник внутрь торфяного горизонта, то его распространение ограничивается только влажностью нижних и верхних слоев органического вещества. Хотя география торфяных пожаров не такая обширная, как на лесной площади, лугах и в степях, нужно указать на то, что объемы выбросов углерода и других вредных веществ в воздух несут в себе не меньшую угрозу для населения (удушливый смог - на 90 процентов является результатом горения торфяников, а не лесов). В состав смога входит угарный газ, мелкие взвешенные частицы, бензол и другие продукты горения. Необходимо иметь в виду, что из-за водоудерживающих особенностей торфа увлажнение горящего очага извне составляет большие трудности, вследствие чего тушение таких пожаров требует огромного количества воды. Практика показывает, что пожарам чаще подвергаются торфяники, искусственно осушенные для добычи торфа или повышения продуктивности заболоченного леса.

Для тушения лесоторфяных и торфяных пожаров применимы не все традиционные методы борьбы с пожарами. Последствия от таких пожаров связаны со значительными экономическими потерями и часто приводят к человеческим жертвам. Например в 1972 г. в Московской области при тушении подземных пожаров были случаи, когда в горящую толщу торфа проваливались пожарные машины и гибли люди, привлеченные к тушению. При этом в результате торфяных пожаров уничтожались узкоколейные железные дороги («кукушки»), которые строились для перевозки рабочих на торфяные месторождения и вывозки торфа, поселки, фабрики, деревни, дачные участки, отдельные строения. Иногда, и сами «кукушки» становились причинами пожаров [14].

Как же бороться с лесоторфяными и торфяными пожарами на болотах?

Анализ опыта борьбы с пожарами на болотах свидетельствует о том, что ликвидировать возгорание торфа на болотах сложнее, чем его предотвратить, именно поэтому сотрудники МЧС России в период пожароопасной обстановки в лесах, на торфяниках и на болотах, а также прилегающих местностях проводят соответствующие предупредительные (профилактические) мероприятия. К числу основных профилактических мероприятий для предупреждения лесоторфяных и торфяных пожаров на болотах следует отнести:

- устройство противопожарных разрывов,
- обводнение торфяников;
- заблаговременное увлажнение искусственными осадками территорий с залежами торфа на болотах.

Достаточно подробно сущность и порядок проведения профилактических мероприятий по предупреждению лесоторфяных и торфяных пожаров, в том числе и на болотах изложены в утвержденном постановлением Совета Министров - Правительства РФ от 09 сентября 1993 г. № 886 "Правилах пожарной безопасности в лесах Российской Федерации".

Одним из наиболее эффективных способов непосредственно тушения лесоторфяных и торфяных пожаров на болотах является окапывание очагов канавами по периметру болот шириной около 1 м и глубиной до минерального слоя или до насыщенного водой слоя торфа и заполнением канав водой из доступных источников.

Еще одним способом борьбы с лесоторфяными и торфяными пожарами на болотах является увлажнение торфяных участков водой с использованием для этого различных средств ее подачи (водяных (торфяных) стволов, трубопроводов, полив искусственными осадками и т.п.).

Основными способами тушения торфяников является окапывание их канавами, а также увлажнение торфяных залежей на болотах. При этом глубина канавы должна достигать минерального грунта или грунтовых вод, а при использовании способа увлажнения - слой воды должен покрывать торф.

Способ же перекапывания торфа как в случае борьбы с торфяными пожарами на осушенных торфяниках, для тушения пожаров на болотах малоприменим из-за невозможности применения тяжелой техники к которой относятся бульдозеры.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что борьба с лесоторфяными и торфяными пожарами на болотах представляет собой достаточно сложную организационно - техническую проблему. При этом, имеется достаточно много общего, но и ряд важных отличий от борьбы с торфяными пожарами на торфоразработках и на осушенных торфяниках, что требует поиска и внедрения новых более эффективных способов предупреждения и тушения лесоторфяных и торфяных пожаров на болотах в интересах повышения безопасности населения, объектов экономики и окружающей природной среды.

Литература

1. Никитин Ю.А., Рубцов В.Ф. Предупреждение и тушение пожаров в лесах и на торфяниках. – М.: Россельхозиздат. - 1986.
2. Лесная энциклопедия в 2-х томах. – М.: Сов. Энциклопедия. - 1985.
3. Подрезов Ю.В. Методологические основы прогнозирования динамики чрезвычайных лесопожарных ситуаций. "Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях". Выпуск № 3.- М.: ВИНТИ. - 2000.
4. Подрезов Ю.В. Диссертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук на тему: "Методологические основы прогнозирования динамики и последствий чрезвычайных лесопожарных ситуаций". - М.: Московский государственный университет леса. - 2005г.
5. Агеев С.В., Подрезов Ю.В., Романов А.С., Виноградов А.В., Тимошенко З.В. «Теоретические исследования и экспериментальные работы отечественных ученых в области физики облаков». Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций», № 1 за 2016 год.
6. Подрезов Ю.В. «Особенности возникновения и развития лесоторфяных и торфяных пожаров в Российской Федерации». Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций», № 1 за 2016 год.
7. Агеев С.В.; Подрезов Ю.В.; Романов А.С.; Юдин С.С. «Анализ современного состояния мониторинга лесных пожаров в Российской Федерации». Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций», № 1 за 2015 год.
8. 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.

9. Подрезов Ю.В. «Основные особенности формирования погодных процессов в атмосфере Земли». Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций», № 5 за 2015 год.

10. Агеев С.В., Подрезов Ю.В., Романов А.С., Донцова О.С., Тимошенко З.В. «Основные исторические аспекты развития метеорологии в России». Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций», № 5 за 2015 год.

11. Подрезов Ю.В. Анализ особенностей загрязнения атмосферы городов». Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций». Выпуск №2.- М.: ВИНТИ, 2013.

12. Подрезов Ю.В., Тимошенко З.В. «Анализ особенностей современных способов борьбы с лесными пожарами и чрезвычайными лесопожарными ситуациями». Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций», №2 за 2014 год.

13. Агеев С.В.; Подрезов Ю.В.; Романов А.С.; Юдин С.С. «Методические особенности лесопожарного прогнозирования». Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций», № 3 за 2014 год.

14. Тишков А.А. Торфяные (подземные) пожары. – <http://biodat.ru/vart/doc/gef/AC10a1/html>.

15. Что изменилось в 2013 году в охране лесов России от пожаров. Лесной форум Гринпис России, 16.06.2013. - <http://www.forestforum.ru/viewtopic.php?t=15007>.

16. <http://ria.ru/spravka/20100714/254723376.html>.

17. <http://www.umocpartner.ru/press-centr/news/schetnaya-palata-rossii-provelea-kompleksnyjj-analiz-ehffektivnosti-sistemy-predotvrashheniya-torfyanykh>.

18. <http://tass.ru/info/1352655>.

Сведения об авторах

Агеев Сергей Владимирович, - начальник 5 научно - исследовательского центра ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), тел. (495)-449-99-58,8-905-748-15-62; электронная почта: asvaser@yandex.ru;

Подрезов Юрий Викторович, - старший научный сотрудник, главный научный сотрудник ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ); Москва, ул. Давыдовская, д. 7, заместитель заведующего кафедрой Московского физико-технического института (государственного университета). Тел.: 8-903-573-44-84, (495)449 90 25, 8 967 096 85 95, E-mail: uvp4@mail.ru

Романов Александр Семенович, - заместитель начальника 5 центра ФГБУ ВНИИ ГЧС (ФЦ); тел.: 8-903-625-92-47; e-mail: romalsem@yandex.ru;

Виноградов Андрей Владимирович, - научный сотрудник научно-исследовательского центра ФГБУ ВНИИ ГЧС (ФЦ). Тел. 8-926-620-32-92; e-mail: eddc-112@mail.ru.

Рыкачёв Егор Максимович, - Тел.: 8-906-780-85-13; e-mail: ryka4ev2015@yandex.ru.

УДК 656.05.001.25

МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ АВТОМОБИЛИЗАЦИИ В ЗАДАЧАХ ПРОГНОЗА ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Кандидат техн. наук *В.И. Колесов*, кандидат техн. наук *А.И. Петров*
Тюменский государственный нефтегазовый университет

Рассмотрен синтез систем управления безопасностью дорожного движения (БДД). Выполнена структурная и параметрическая идентификация динамической модели процесса автомобилизации в стране, позволяющая решать задачи прогноза и управления БДД. Приведены результаты расчетов для США и России.

Ключевые слова: динамика, управление, прогноз, безопасность дорожного движения, уровень автомобилизации, идентификация моделей.

MODEL OF AUTOMOBILIZATION DYNAMICS IN TASKS OF THE INDICATORS TRAFFIC SAFETY FORECAST

Ph. D. (Tech) *V.I. Kolesov*, Ph. D. (Tech) *A.I. Petrov*
Tyumen state oil and gas university

Article is focused on synthesis of traffic safety control systems. The structural and parametrical identification of dynamic model of automobilization process in the country allowing to solve problems of the forecast and management of traffic safety is executed. Results of calculations for the USA and Russia are given.

Key words: dynamics, management, forecast, traffic safety, automobilization level, identification of models.

Постановка задачи. Управление безопасностью дорожного движения опирается на целевые показатели в виде транспортного (TR) и социального (HR) рисков, которые, в соответствии с законом Р. Смида, связаны с уровнем автомобилизации U_a . В вопросе поведения U_a во времени нет, к сожалению, полной ясности. Это затрудняет временной прогноз как числа дорожно-транспортных происшествий (ДТП), так и их последствий. Делается попытка хотя бы частично устранить имеющийся пробел.

Решение задачи. Логично предположить [3], что, с точки зрения теории полезности, динамика процесса автомобилизации в регионе определяется, по крайней мере, двумя главными обстоятельствами: изменчивостью полезности одной единицы блага (автомобиля) и динамикой спроса на эти единицы. Это означает, что скорость изменения уровня автомобилизации $V_a(t)$, которая определяется в общем виде как (1):

$$V_a(t) = \frac{dU_a}{dt} \quad (1)$$

рассматривается как результат мультипликативного взаимодействия скорости изменения полезности одной единицы блага $V_b(t)$ и динамики спроса $W_b(t)$ на эти единицы, т.е.

$$V_a(t) = V_b(t) \cdot W_b(t). \quad (2)$$

Рассмотрим далее механизмы $V_b(t)$ и $W_b(t)$.

Следует ожидать, что $V_b(t)$ является монотонно убывающей функцией, являющейся в общем случае решением дифференциального уравнения

$$\frac{dV_b}{dt} = -\lambda \cdot V_b^\gamma, \quad (3)$$

где λ и γ - параметры модели, причем в простейшем случае $\gamma = 1$.

Решение уравнения (3) найдем, разделяя переменные и интегрируя

обе части, $\int_{V_{b \max}}^{V_b(t)} \frac{dV_b}{V_b} = -\lambda \int_0^t dt$, из чего следует, что $\ln \left[\frac{V_b(t)}{V_{b \max}} \right] = -\lambda \cdot t$, т.е.

$$V_b(t) = V_{b \max} \cdot \exp(-\lambda \cdot t). \quad (4)$$

При необходимости решение уравнения (3) для $\gamma \neq 1$ можно найти в работе [4].

Что же касается $W_b(t)$, то это монотонная функция, возрастающая в общем случае по степенному закону

$$W_b(t) = k \cdot t^{c-1}. \quad (5)$$

Таким образом, учитывая (2), (3) и (4), имеем

$$V_a(t) = V_b(t) \cdot W_b(t) = k \cdot V_{b \max} \cdot t^{c-1} \cdot \exp(-\lambda \cdot t). \quad (6)$$

Следовательно, динамика уровня автомобилизации может быть записана в виде (7):

$$U_a(t) = \int_0^t V_a(t) \cdot dt = k \cdot V_{b \max} \int_0^t t^{c-1} \exp(-\lambda t) dt = U_{a \max} \frac{\int_0^u u^{c-1} \exp(-u) du}{\Gamma(c)}, \quad (7)$$

где $\Gamma(c)$ - гамма-функция; $U_{a \max} = k \cdot V_{b \max} \cdot |\Gamma(c) / \lambda^c|$.

Структура полученной динамической модели определяется, как видим, последним сомножителем, который соответствует функции распределения одного из двух законов: либо гамма-распределения, либо распределения Эрланга (при целочисленном показателе (c)) [5].

При $c = 2$, т.е. при линейном законе $W_b(t) = k \cdot t^{c-1} = k \cdot t$, получим

$$U_a(t) = k \cdot V_{b \max} \cdot \int_0^t t \cdot \exp(-\lambda \cdot t) \cdot dt = U_{a \max} \int_0^u u \cdot \exp(-u) \cdot du / \Gamma(2),$$

где $U_{a \max} = k \cdot V_{b \max} \cdot \Gamma(2) / \lambda^2$;

а при квадратичном, т.е. при $c = 3$:

$$U_a(t) = U_{a \max} \int_0^u u^2 \cdot \exp(-u) \cdot du / \Gamma(3), \quad (8)$$

где $U_{a \max} = k \cdot V_{b \max} \cdot |\Gamma(3) / \lambda^3|$.

Параметрическая идентификация модели (8) была выполнена с использованием данных, приведенных в [1] для США и [6] для России.

В ходе вычислений полагалось, следуя [2], что

$$\int x^2 e^{ax} dx = e^{ax} \cdot \left(\frac{x^2}{a} - \frac{2x}{a^2} + \frac{2}{a^3} \right).$$

Результаты обработки, приведенные на рис. 1, свидетельствуют о том, что предложенная модель не противоречит эксперименту.

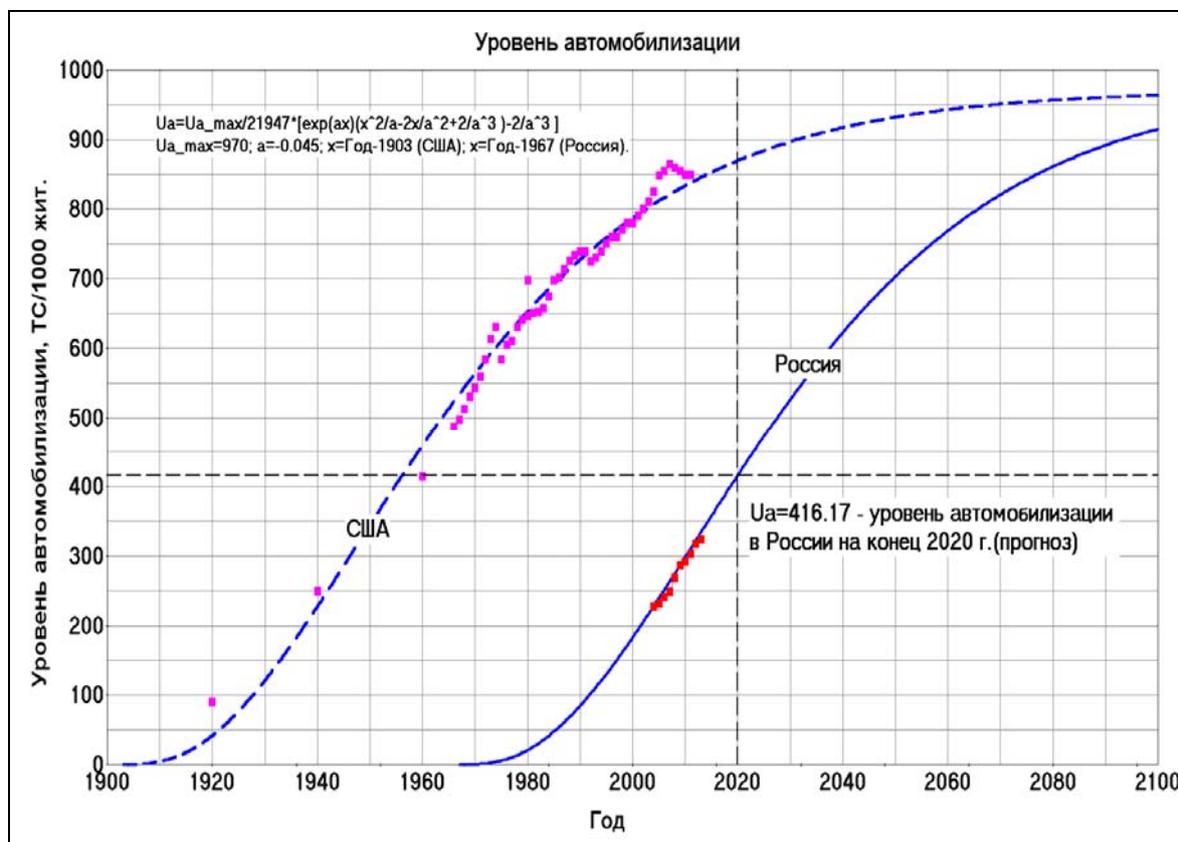


Рис. 1. Модель уровня автомобилизации (на примере США и России)

Таким образом, модель динамики автомобилизации в России может быть принята в виде (9):

$$U_a(t) = \frac{U_{a \max}}{21947} \cdot \left[\exp(a \cdot x) \cdot \left(\frac{x^2}{a} - \frac{2x}{a^2} + \frac{2}{a^3} \right) - \frac{2}{a^3} \right], \text{ТС/1000 жителей} \quad (9)$$

где $U_{a \max} = 970$; $a = -0.045$; $x = \text{год} - 1903$ (США); $x = \text{год} - 1967$ (Россия).

Полученный результат имеет ряд перспективных инженерных приложений, включающих:

- моделирование транспортных и социальных рисков в стране;
- прогноз целевых показателей безопасности дорожного движения;
- разработку и экспертизу программ по повышению БДД;
- разработку алгоритмического обеспечения для систем управления БДД, и др.

Литература

1. Блинкин М.Я., Решетова Е.М. Безопасность дорожного движения. – М.: Издательский дом Высшей школы экономики. - 2013. –170 с.
2. Градштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. – М.: Наука. - 1971. – 1108 с.
3. Колесов В.И. Модель динамики автомобилизации в стране // Нефть и газ Западной Сибири: материалы международной научно-технической конференции. Т. 1. – Тюмень: ТюмГНГУ. - 2015. – С. 261 – 264.
4. Колесов В.И. Моделирование рейсовых динамических характеристик процесса бурения нефтяных и газовых скважин // Новые технологии нефтегазовому региону: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Т. 1. – Тюмень: ТюмГНГУ. - 2013. – С. 370 – 377.
5. Хастингс Н., Пикок Дж. Справочник по статистическим распределениям. – М.: Статистика. - 1980. – 96 с.
6. <https://www.gibdd.ru/stat/> Госавтоинспекция МВД России. Официальный интернет-сайт. Показатели состояния безопасности дорожного движения.

Сведения об авторах

Колесов Виктор Иванович, - доцент, инженер 1 категории МКУ «Тюменьгортранс». Служебный адрес: 625035, г. Тюмень, ул. Республики, д. 200. Телефон: +7-904-876-05-55 сот. E-mail: vikolesov@yandex.ru

Петров Артур Игоревич, - доцент, доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» ТюмГНГУ. Служебный адрес: 625000, Тюмень, ул. Мельникайте 72, Институт транспорта ТюмГНГУ, каф. ЭАТ. Телефоны: (3452) 20-93-02 раб.; +7-908-873-37-19 сот. E-mail: ArtIlgPetrov@yandex.ru

УДК 614.841.2

**О МЕТОДИКЕ ДИАГНОСТИКИ СВЕТЛЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ
ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРОВ
НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА**

Н.Р. Казакова

**Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы
МЧС России**

Доктор техн. наук А.К. Черных

Санкт-Петербургский военный институт внутренних войск МВД России

Предлагается методика диагностики светлых нефтепродуктов для установления причин возникновения пожаров на объектах нефтегазового комплекса, которая включает следующие основные этапы: многократный пробоотбор среды-носителя светлого нефтепродукта на месте пожара, реализацию нового порядка пробоподготовки образцов среды, элементный и количественный анализ полученных проб на основе применения атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой и решение задачи идентификации светлого нефтепродукта в автоматизированном режиме с помощью разработанной компьютерной программы.

Ключевые слова: диагностика, светлые нефтепродукты, отбор проб среды, установление причин пожаров, нефтегазовый комплекс.

**ABOUT THE METHODS OF DIAGNOSTICS OF LIGHT OIL PRODUCTS
TO ESTABLISH THE CAUSES OF FIRES AT OIL AND GAS FACILITIES**

N.R. Kazakova

St. Petersburg University of State fire service of EMERCOM of Russia

Dr (Tech.) A.K. Chernykh

St. Petersburg military Institute of internal troops of the MIA of Russia

The technique of diagnostics of light oil products to establish the causes of fires at oil and gas facilities, which includes following steps: multiple sampling of the medium of light oil on the fire place, the implementation of the new procedure for the preparation of samples of the environment, and quantitative elemental analysis of samples obtained on the basis of atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma and the solution of the identification problem of light oil in the automatic mode using the developed computer program.

Key words: the initiator of combustion, light oil, identification, sampling environment, fuzzy sets.

В настоящее время актуальной задачей является предотвращение возникновения таких чрезвычайных ситуаций, как аварии на объектах нефтегазового комплекса (НГК). В результате каскадного развития аварии могут перерасти в катастрофы, вызывающие крупный материальный ущерб. Данные ЧС могут возникать на объектах НГК в результа-

те взрывов и пожаров, обусловленных утечками и аварийными выбросами нефтепродуктов. Для оперативного установления источников утечек и аварийных выбросов необходимым условием является достоверное решение задачи диагностики жидких углеводородов на объектах НГК.

Кроме того, решение рассматриваемой задачи диагностики целесообразно для совершенствования существующих методик пожарно-технической экспертизы, которые дают заключения по причинам возникновения пожаров и взрывов на объектах НГК.

Светлые нефтепродукты (СНП), входящие в ряд жидких углеводородов, являются наиболее взрывопожароопасными по сравнению с нефтью и различными другими нефтепродуктами. Известно, также, что при поджогах в качестве инициатора горения чаще всего применяются СНП. В связи с указанными обстоятельствами СНП были выбраны в качестве объекта исследования.

В настоящее время, с целью установления причин пожаров на объектах нефтегазового комплекса, для диагностики СНП применяются методы флуоресцентной, инфракрасной спектроскопии, хроматографии (газовой, газожидкостной, высокоэффективной жидкостной) и хромато-масс-спектрометрии [1]. Применение данных методов при проведении пожарно-технической экспертизы не всегда позволяет определить причину возникновения пожара, так как они направлены на исследование углеводородной составляющей горючей или легковоспламеняющейся жидкости (нефтепродукта).

В связи с этим ранее был предложен метод идентификации СНП, предназначенный для установления конкретного вида и марки СНП.

С помощью применения метода идентификации СНП, представленного в работе [2], и основанного на исследовании наличия и количественного содержания металлов (Cr, Fe, Mn, Ni, Zn), входящих в их состав, возможно исследование процессов протекания аварий и условий, способствующих их каскадному и катастрофическому развитию на объектах НГК (образование взрывопожароопасных концентраций, смешение ЛВЖ, ГЖ с окислителем (кислородом воздуха), расположение горючей нагрузки на путях распространения пожара), с помощью разработки методов оценки различных воздействий (методика диагностики СНП). Металлы, входящие в состав СНП, в рамках указанного метода рассматриваются в качестве относительно независимых параметров для решения задачи идентификации СНП [2].

Под воздействием высоких температур (температура углеводородного пожара может достигать 1100 °С [3]) в процессе каскадного развития аварий на объектах НГК, возникших в результате взрывов и пожаров, углеводородная составляющая СНП с течением времени испаряется, и может выгореть в полном объеме. Учитывая, что в состав СНП в небольших количествах входят металлы (Cr, Fe, Mn, Ni, Zn), не подверженные выгоранию, диагностика СНП возможна на основе анализа содержания в них данных металлов. Значения температур плавления и кипения металлов, содержащихся в СНП (Cr, Fe, Mn, Ni, Zn), значительно превышают температуру углеводородного пожара. Таким образом, при углеводородном пожаре ни один из перечисленных выше металлов не испаряется и, соответственно, полностью остается в среде-носителе (грунт, жидкость (вода), твердая поверхность (асфальт, бетон и др.)) СНП.

Следует отметить, что пределы обнаружения оборудования, применяемого для реализации перечисленных выше методов пожарно-технической экспертизы, в большинстве случаев не позволяют обнаружить, и определить количественное содержание металлов, входящих в состав СНП. Под количественным содержанием понимается относительное содержание металлов в СНП. В связи с этим в работах [2, 4, 5] были рассмотрены инструментальные методы элементного анализа, пределы обнаружения которых позволяют осуществлять элементный и количественный анализ СНП: атомно-абсорбционная спектрометрия (ААС), масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) и

атомно-эмиссионная спектрометрия с источником возбуждения - индуктивно-связанной плазмой (ИСП-ОЭС).

При применении метода ААС для каждого определяемого металла используется своя методика, и, в связи с этим, требуется соответствующая перенастройка атомно-абсорбционного спектрометра. В результате затрачивается большое количество времени, что является существенным недостатком данного метода. Кроме того перекалибровка атомно-абсорбционного спектрометра под определенный металл возможна только при условии участия квалифицированного специалиста.

Метод ААС является универсальным по процедурам пробоподготовки и анализу различных по типу проб (нефтепродукты, природные воды, почвы и т. д.). Данный метод по стоимости оборудования и расходных материалов является менее затратным по сравнению с методами ИСП-МС и ИСП-ОЭС, и позволяет эффективно решать задачи по определению металлов в природных объектах, загрязненных нефтепродуктами. Однако сравнительно узкий диапазон определения числа металлов, содержащихся в нефтепродуктах, и высокая трудоемкость метода, связанная с необходимостью последовательного определения каждого металла, обуславливают необходимость анализа возможностей таких альтернативных методов, как ИСП-МС и ИСП-ОЭС, главным достоинством которых является возможность одновременного определения целого ряда металлов.

Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой позволяет проводить анализ подготовленных проб, находящихся в виде раствора. Для водных растворов анализируемых методом ИСП-МС пределы обнаружения составляют порядка $\text{ppb} - \text{ppt}$, то есть $10^{-9} - 10^{-12}$ (от 1 мкг/кг до 10^{-3} мкг/кг).

Процедура пробоподготовки может осуществляться как в классическом варианте, с использованием разбавленных минеральных кислот для подкисления анализируемых водных проб, так и экстракцией металлов, содержащихся в светлых нефтепродуктах, в органические растворители.

Высокая чувствительность метода (и, соответственно, низкие пределы обнаружения), являющаяся его несомненным достоинством, также налагает определенные требования на процедуру пробоподготовки. Данные требования заключаются в том, что необходимо либо использовать дорогостоящие химические реактивы (кислоты, дистиллированную воду, растворители) высокой чистоты, либо производить очистку реактивов в лаборатории с помощью вспомогательного оборудования, например, кварцевого перегонного аппарата для очистки дистиллированной воды и кислот. Данное требование обусловлено тем, что в случае недостаточно чистых реактивов будет весьма значительным сигнал холостой пробы, учитываемый при градуировке прибора и расчете конечных результатов измерения, что, в конечном итоге, не позволит добиться минимально возможных пределов обнаружения и может существенно повысить погрешность результата измерения.

Реализация метода ИСП-МС требует применения установок очень высокой стоимости, эксплуатация которых требует привлечения высококвалифицированных операторов, умеющих не только проводить измерения, но и обслуживать вакуумную систему прибора и выполнять регламентные работы по смене распылителя и горелки, их промывке, юстировке, а также по юстировке и уходу за системами пробоотбора и ионной оптики.

Проведенный анализ показал, что технология индуктивно-связанной плазмы при реализации методов масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) или атомно-эмиссионной спектрометрии с источником возбуждения - индуктивно-связанной плазмой (ИСП-ОЭС) на сегодняшний день является одной из наиболее перспективных для элементного анализа проб. Вместе с тем, при равных затратах на пробоподготовку, стоимость приборов, используемых при реализации метода ИСП-ОЭС, гораздо меньше, чем стоимость приборов ИСП-МС. Экспериментальные исследования показали, что методы ИСП-МС и ИСП-ОЭС обладают примерно одинаковыми возможностями для реше-

ния рассматриваемой задачи идентификации и, по существу, являются альтернативными, но, с учетом изложенного выше, реализация метода ИСП-ОЭС, как менее затратного, представляется более целесообразной.

На основании сравнительного анализа технических, метрологических и стоимостных параметров в качестве оптимального метода для анализа количественного содержания металлов в светлых нефтепродуктах выбран оптический эмиссионный спектральный метод с индуктивно-связанной плазмой в качестве источника возбуждения. При проведении экспериментальных исследований отбор проб производился в соответствии с действующим государственным стандартом [6].

Так как пожары и взрывы на объектах нефтегазового комплекса нередко возникают из-за утечек или аварийных выбросов жидких углеводородов, возможность диагностики СНП на объектах НГК позволит достоверно устанавливать источники возникновения данных утечек. В свою очередь, анализ причин возникновения утечек СНП на объектах НГК будет способствовать повышению эффективности профилактических мероприятий по предотвращению пожаров и взрывов, способных привести к авариям и катастрофам. Своевременное установление источников утечек на объектах НГК может предотвратить пожары и взрывы.

Так как в качестве инициаторов горения при поджогах наиболее часто применяются СНП, в качестве объектов исследования были выбраны различные виды автомобильных бензинов разных заводов-изготовителей, два вида керосина (осветительный и авиационный), жидкость для розжига и дизельное топливо двух заводов-изготовителей («ЭНКО» и «Лукойл»).

Экспериментальные исследования проб проводились на базе ООО «Институт Гипроникель» (г. Санкт-Петербург). В качестве инструментальной базы при проведении исследований по анализу СНП использовались масс-спектрометр с индуктивно-связанной плазмой серии X Series2 (фирмы Thermo SCIENTIFIC) и атомно-эмиссионный спектрометр с индуктивно-связанной плазмой серии iCAP 6500 (фирмы Thermo SCIENTIFIC).

Результаты экспериментальных исследований СНП представлены в работе [2]. Анализируя результаты экспериментальных исследований, можно сделать вывод, что по количественному содержанию в светлых нефтепродуктах таких металлов, как хром (Cr), железо (Fe), марганец (Mn), никель (Ni) и цинк (Zn), с помощью применения метода атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой можно не только идентифицировать различные виды светлых нефтепродуктов, но и достоверно определять марку светлого нефтепродукта, а также конкретный завод-изготовитель бензина и (или) дизельного топлива. Не вызывает сомнений, что рассмотренные возможности предлагаемого метода для решения задачи идентификации СНП имеют большое практическое значение.

Чтобы повысить эффективность и достоверность диагностики светлых нефтепродуктов для установления причин пожаров на объектах нефтегазового комплекса, особенно если с момента пожара (взрыва) прошло значительное время, необходимо применение соответствующей методики.

Предлагаемый сценарий реализации методики диагностики СНП для установления причин пожаров на объектах НГК, предусматривает выполнение ряда основных этапов, представленных на рисунке.

Рассмотрим основные этапы предлагаемой методики более подробно.

Этап 1. Поступление информации о пожаре на объекте НГК. Обнаружение, определение границ и анализ особенностей очага (очагов) пожара. Несколько очагов пожара возможно в случае умышленного поджога.

Следует отметить, что возможна также ситуация, когда жидкость, примененная в качестве инициатора горения, может находиться вне очага пожара. Например, concentra-

ция светлого нефтепродукта, находящегося в труднодоступных местах помещений (плинтуса, уголки и т. д.) за счет розлива жидкости, может превышать концентрацию данного вещества в очаге пожара. В этом случае следует производить отборы проб также в данных участках.

Этап 2. Выбор вида пробоотборника, исходя из характеристик среды, в которой находится СНП. Определение точек отбора пробы на объектах НГК с учетом особенностей среды-носителя СНП. На данном этапе необходимо осуществить выбор вида пробоотборника, исходя из характеристик среды (почва, жидкость, твердые поверхности и т. д.), в которой предполагается обнаружить СНП.

Этап 3. Отбор проб среды-носителя СНП на месте пожара (пробоотбор). На данном этапе производится отбор проб на месте пожара. С помощью соответствующего пробоотборника, подходящего для среды, в которой предположительно находится светлый нефтепродукт, необходимо произвести отбор проб данной среды в очаге пожара, либо на том участке, где возможно обнаружение и изъятие данного СНП. Необходимо также произвести отбор проб в стороне от участка, на котором предположительно находится СНП (т.е. на некотором удалении от очага пожара), целью определения естественного уровня содержания в окружающей среде каждого анализируемого металла (так называемые «фоновые» концентрации и соответствующие им «фоновые» пробы), причем указанные пробы по объему должны быть одинаковые.

Следует заметить, что возможна ситуация, когда на месте пожара обнаруживается емкость, предположительно с нефтепродуктом, который мог быть применен в качестве инициатора горения. В таком случае она изымается и помещается в герметичную упаковку, а затем передается для анализа в исследовательскую пожарную лабораторию.

Этап 4. Пробоподготовка образцов среды, полученных на месте пожара. На данном этапе методики осуществляется пробоподготовка полученных на месте пожара проб среды-носителя СНП и «фоновых» проб для анализа на ИСП-ОЭС.

Предложены новый порядок проведения пробоподготовки для жидких проб (в состав которых входят СНП), изъятых с места пожара, и новый состав комплекта оборудования для проведения элементного и количественного анализа данных веществ [2].

Если анализу подлежат пробы грунта (почвы), сначала должны применяться специальные методы экстракции для перевода металлов, содержащихся в грунте, в жидкую пробу, затем применяется порядок пробоподготовки для жидких проб, изъятых с места пожара, представленный в работе [2].

Этап 5. Элементный и количественный анализ проб производится на основе реализации метода ИСП-ОЭС. На данном этапе производится элементный и количественный анализ проб с помощью ИСП-ОЭС серии iCAP 6500. Применение данного прибора позволяет определить как элементный состав анализируемой пробы, так и количественное содержание металлов.

Этап 6. Корректировка значений количественных содержаний металлов в пробах среды-носителя СНП с учетом наличия в них «фоновых» концентраций. Так как светлые нефтепродукты, предположительно примененные в качестве инициаторов горения, при изъятии их с места пожара, находятся в объектах окружающей среды (почва, вода и др.), «фоновое» содержание металлов в среде следует учитывать следующим образом: полученную величину «фоновых» количественных содержаний металлов в среде следует вычесть от величины количественных содержаний металлов в пробах среды, в которой предположительно находится светлый нефтепродукт. В результате мы получим количественное содержание металлов в светлом нефтепродукте, который был применен в качестве инициатора горения или который послужил причиной возникновения пожара в результате утечки (или аварийного выброса) на объектах нефтегазового комплекса.

Этап 7: Решение задачи идентификации СНП в автоматизированном режиме с помощью разработанной компьютерной программы «Идентификация светлых нефтепродуктов для установления причин пожаров на объектах нефтегазового комплекса».

Для решения задачи идентификации СНП принято целесообразным применение подхода, основанного на анализе отношений количественных содержаний металлов (точнее, относительных содержаний металлов) в нефтепродукте [2]. Известно, что значения относительных содержаний металлов (V, Ni, Fe, Ca, Mg, Na, K, Mn, Cr, Cu и др.) в нефти, а также анализ отношений указанных содержаний металлов позволяют однозначно идентифицировать (определить) вид нефти [7-9]. Проведённое экспериментальное исследование показало, что в СНП, являющихся результатом переработки нефти, содержатся не все из перечисленных выше металлов [2]. Вместе с тем анализ величин отношений относительных содержаний металлов в СНП также позволяет решить рассматриваемую задачу идентификации. Проведенные эксперименты показали, что определение относительных содержаний металлов (Ni, Cr, Mg, Fe, Zn) в СНП и анализ величин парных отношений данных металлов являются необходимым и достаточным для решения задачи идентификации СНП. Число указанных парных отношений определяется как число сочетаний из n элементов по m :

$$C_n^m = \frac{A_n^m}{P_m} = \frac{n!}{m!(n-m)} \quad (1)$$

где: A_n^m - число всех возможных размещений из n по m ;

P_m - число перестановок;

n - число металлов;

$m = 2$.

Формализация рассматриваемой задачи идентификации СНП может быть произведена на основе использования математического аппарата кластерного анализа [10].

Приведём математическую постановку задачи идентификации СНП.

Введём обозначения:

K - количество исследуемых СНП, шт.;

I - количество используемых металлов, шт.;

x_{ki}^* - измерение-центр k -го класса (вида СНП) по i -у металлу ($k = 1, 2 \dots K$, $i = 1, 2, \dots I$), число;

J_k - множество измерений в k -том классе (виде СНП), шт.;

$|J_k|$ - мощность множества J_k (т.е. число элементов множества J_k), число;

x_{jki} - j -ое измерение из k -го класса (вида СНП) по i -му металлу ($j_x = 1, 2, |J_k|$, $i = 1, 2 \dots I$, $k = 1, 2 \dots K$), число;

Евклидово расстояние между измерениями x_{ki}^* и x_{jki} :

$$d_{x_{ki}^* x_{jki}} = \sqrt{\sum_{j_k}^{j_k} (x_{ki}^* - x_{jki})^2}, \forall_i \quad (2)$$

r_k – пороговое значение для k -го класса (вида СНП), число;

Математическая постановка задачи идентификации различных видов СНП имеет вид:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j_{kE}} \sum_{i=1}^i (x_{ki} - x_{j_{ki}})^2 \rightarrow \min \quad (3)$$

при ограничениях:

$$dx_{ki}^* x_{j_{ki}} \leq r_k ,$$

где: $k = 1, 2 \dots K, I = 1, 2 \dots I, j = 1, 2, \dots, |J_k|$

С целью уменьшения времени идентификации СНП и автоматизации рутинного процесса сравнения величин парных отношений количественных содержаний металлов (Ni, Cr, Mg, Fe, Zn), находящихся в анализируемой пробе, представленной для установления вида, марки и завода-изготовителя СНП, с величинами отношений количественных содержаний металлов, приведёнными в соответствующей базе данных, разработано специальное программное обеспечение. Данное специальное программное обеспечение предназначено для автоматизации решения задачи идентификации СНП и позволяет определить вид, марку и предприятие-изготовителя СНП на основе расчета значений парных отношений количественных содержаний металлов, имеющих в этих нефтепродуктах, и анализа выполнения условий попадания этих значений в соответствующие числовые интервалы, заданные в разработанной базе данных. В качестве исходных данных для работы программы вводятся количественное содержание металлов, входящих в состав светлого нефтепродукта, который был применен в качестве инициатора горения, или послужил причиной возникновения аварийной ситуации на объектах нефтегазового комплекса. Разработанная компьютерная программа по существу представляет собой техническую реализацию предлагаемого метода идентификации светлых нефтепродуктов, и может применяться для установления причин пожаров на объектах нефтегазового комплекса.

Этап 8. Получение заключения о виде, марке и предприятии-изготовителе СНП.

Данное заключение является результатом реализации предлагаемой методики, и позволяет однозначно установить источник утечки и (или) причину возникновения пожара (взрыва) на рассматриваемом объекте НГК.

Использование указанной достоверной информации о причине пожара (взрыва) при разработке заключения пожарно-технической экспертизы способствует повышению эффективности профилактических мероприятий по предотвращению возникновения пожаров и взрывов на объектах НГК и повышению вероятности установления лиц, причастных к совершению поджогов. Кроме того, от качества выполнения мероприятий по обеспечению пожарной безопасности на объектах НГК, в свою очередь, зависит уровень экологической и промышленной безопасности.

Литература

1. Галишев М.А., Сикорова Г.А., Алексеева Т.С. Методы и средства судебно-экспертных исследований. СПб.: СПб университет ГПС МЧС России. - 2012. 136 с.
2. Казакова Н.Р., Черных А.К. Метод идентификации жидких углеводородов на основе атомно-эмиссионной спектроскопии и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой для

обеспечения пожарной безопасности на объектах нефтегазового комплекса // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. - 2015. №10. С. 35-38.

3. ГОСТ Р ЕН 1363-2-2014. Конструкции строительные. Испытания на огнестойкость. Часть 2. Альтернативные и дополнительные методы; введ. 2014-10-06. М: Стандартиформ. - 2014.

4. Ивахнюк С.Г., Казакова Н.Р. Новые инструментальные методики, способствующие установлению лиц, совершивших поджоги // Научный вестник Омской академии МВД России. - 2015. № 2. С. 36 – 39.

5. Ивахнюк С.Г., Казакова Н.Р. Новые инструментальные методики в расследовании преступлений, связанных с применением инициаторов горения // Вестник Воронежского института МВД. - 2014. №3. С. 153-157.

6. ГОСТ 2517–2012. Нефть и нефтепродукты. Методы отбора проб. Взамен ГОСТ 2517-85; введ. 2014–03–01. М: Стандартиформ. - 2014.

7. Peters K.E., Walters C.C., Moldowan J.M., 2nd ed., The biomarker guide, Volume 2: Biomarkers and isotopes in the petroleum exploration and earth history, Cambridge: Cambridge University Press. - 2007. 704 p.

8. Barwise A.J.G., Role of nickel and vanadium in petroleum classification // Energy Fuel. - 1990. №4. P. 647-652.

9. Duyck C.B., Miekeley N, Silveira C. L. P. et al. Trace element determination in crude oil and its fractions by inductively coupled mass spectrometry using ultrasonic nebulization of toluene solutions. // Spectrochimica Acta Part B. 2002. V. 57, P. 1979-1990.

10. Мандель И.Д. Кластерный анализ. М.: Финансы и статистика. - 1988. 176 с.

Сведения об авторах

Казакова Надежда Рашидовна – адъюнкт факультета подготовки кадров высшей квалификации по кафедре Пожарной безопасности технологических процессов и производств Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 149). Тел.: +7-9817350582. E-mail: kazakova-nadenka@mail.ru

Черных Андрей Климентьевич – доцент, профессор кафедры Информатики и математики Санкт-Петербургского военного института внутренних войск МВД России (Россия, 198206, Санкт-Петербург, ул. Летчика Пилютова, д. 1). Тел.: +7-9500064295. E-mail: nadezhda.m90@mail.ru

УДК 159.9.07

**ВЛИЯНИЕ ЭКЗИСТЕНЦИАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ НА ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ
ДОЛГОЛЕТИЕ СОТРУДНИКОВ ФПС МЧС РОССИИ В КЛИМАТИЧЕСКИХ
УСЛОВИЯХ КОЛЬСКОГО ЗАПОЛЯРЬЯ**

Е.В. Горячева
ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), г. Москва

В статье рассмотрены экзистенциальные факторы личности и климатические условия Кольского Заполярья, влияющие на профессиональное долголетие сотрудников ФПС МЧС России с различным стажем служебной деятельности.

Ключевые слова: экзистенциальные факторы, климатические условия Кольского Заполярья, профессиональное долголетие.

**INFLUENCE OF EXISTENTIAL FACTORS ON THE LONGEVITY
OF THE PROFESSIONAL STAFF OF THE FEDERAL FIRE SERVICE
OF EMERCOM OF RUSSIA IN CLIMATIC CONDITIONS
OF THE KOLA POLAR REGION**

E.V. Goryacheva
FC VNI GOChS Emercom of Russia, Moscow

The article deals with the existential personality factors and climatic conditions of the Kola Polar region, affecting the longevity of the professional staff of the Federal Fire Service of EMERCOM of Russia with various experience official activity.

Key words: existential factors, climatic conditions of the Kola Polar region, professional longevity.

Экзистенциальная психология берет свое направление из современной западной психологии и исходит из первичного представления бытия человека о мире. Оно является формированием особых базовых экзистенциальных факторов и проблем, которые индивидуальны для каждого человека. Неспособность преодолеть эти проблемы приводит к психическим отклонениям. Экзистенциальная психология изучает четыре основных комплекса проблем:

- жизни, смерти, времени;
- выбора, ответственности, свободы;
- любви, одиночества, общения;
- смысла и бессмысленности существования.

Проблема экзистенциальности, в основном, рассматривается в работах по философии. Однако рост влияния экзистенциальных подходов является одной из, признаваемых специалистами, тенденций развития психологии первого десятилетия XXI века. Ее примечательной особенностью становится «переход от изучения отдельных психических процессов и явлений к анализу целостных ситуаций человеческого бытия». Наиболее яркими представителями экзистенциальной психологии являются Л. Бинсвангер, М. Босс, Е. Минковски, Р. Мэй, В. Франкл, Дж. Бугенталь.

Личностная, эмоциональная и профессиональная вовлеченности субъекта, проявляющиеся как экзистенциальное присутствие в профессиональном взаимодействии с другими людьми, описаны в исследованиях Р. Ассаджиоли, Э. Фромма, А. Маслоу, Р. Мэй, В. Франкла, К. Роджерса [2, 10]. Авторы рассматривают приоритет тех или иных экзистенциальных факторов и проблем в разных аспектах человеческого существования. Установлено, что экзистенциальные проблемы принципиально отличаются от психологических проблем. Последние связаны с индивидуально-личностными особенностями человека (самооценка, социальный статус, уверенность в себе и др.), в свою очередь экзистенциальные проблемы берут свои истоки из субъективного представления человека о мире и мира относительно него. В каждом возрастном периоде под влиянием определенных жизненных событий у человека возникают те или иные экзистенциальные проблемы. Разные жизненные события, опыт и возрастные изменения определяют ответы и решение экзистенциальных проблем, соответствующие возрастному и психологическому уровню зрелости человека.

Экзистенциальные проблемы постоянно присутствуют в жизни человека, в не зависимости осознаются они им или нет (поиск смысла жизни, степень ответственности и свободы, проблемы выбора, любви и одиночества, жизни и смерти). Затрагивая эти вопросы, экзистенциальные проблемы оказывают сильное влияние на благополучие и психологическое здоровье человека.

Проблеме психической устойчивости, а также путям ее оптимизации были посвящены работы ведущих отечественных психологов (Л.И. Анциферовой, Л.С. Выготского, Л.Г. Дикой, Б.Ф. Ломова, В.А. Пономаренко, М.Ф. Секач, В.Э. Чудновского). Психическая устойчивость и зрелость личности, связывается с экзистенциальными ценностями, способностью индивида выстраивать иерархию приоритетных целей в своей жизни и организовывать свою деятельность. В частности по А.Н. Леонтьеву, понятие психической устойчивости личности, определяется соотношением способов осуществления деятельности со смыслообразующими мотивами и определенными поведенческими особенностями [4]. Г. Оллпорт считает, что зрелость личности напрямую отражает ее здоровье.

В понятии социальной зрелости личности А.А. Реан выделил следующие составляющие: ответственность, терпимость, саморазвитие, положительное мышление, положительное отношение к миру [9]. На каждом жизненном этапе, в силу жизненных событий или возрастных изменений, человек должен находить соответствующие его уровню зрелости экзистенциальные ответы. Экзистенциальные проблемы обостряются в определенные моменты жизни, которые могут быть связаны с возрастом, изменениями в жизненной ситуации (например, разводом, потерей работы, утратой близкого человека) или нарастающей потребностью в переменах, возникающей в силу изменений жизненных приоритетов, ценностей, планов и целей, неудовлетворенности жизненной ситуацией.

Экзистенциальные факторы – это базовые смыслообразующие ценности человека, его отношение к смерти, смыслу жизни, свободе выбора, одиночеству, ответственности. Осмысление экзистенциальных ценностей приводит к интрапсихическим конфликтам личности, которые являются основой развития человека:

- конфликт между неизбежностью смерти и желанием жить;
- между свободой и ответственностью, желанием обрести опору;
- между осознанием одиночества и желанием устанавливать контакты, любить;
- между потребностью в смысле жизни и его отсутствием в безразличном, равнодушном мире.

На разных возрастных этапах и в критические моменты жизни, жизненные выборы человека определяются экзистенциальными ценностями, которые осознаются в большей или меньшей степени. Неправильный выбор, плохое осознание альтернатив, бегство от ответственности за свой выбор, вызывают экзистенциальную тревогу, страхи

или чувство вины, влияя на психическую устойчивость личности и, в целом, на ее адаптационные возможности.

В современной научной литературе основное внимание уделяется изучению негативного влияния экстремальных условий деятельности на структуру личности, психическое и соматическое здоровье (посттравматическое стрессовое расстройство, эмоциональное выгорание). Однако при этом не учитывается, что наряду с профессионально важными качествами, которые влияют на успешную адаптацию, развиваются с опытом и укрепляются тренировкой, существуют и экзистенциальные факторы личности, которые слабо зависят от способностей человека и ситуативных изменений, но часто определяют способы реагирования, поведенческие установки, смысл и нравственную основу его жизнедеятельности.

В связи с вышеизложенным, следует отметить, что недостаточно изученной является проблема совместного влияния экзистенциальных факторов и климатических условий на профессиональное долголетие.

Под термином «профессиональное долголетие» понимается способность специалиста в течение длительного времени (всего периода профессиональной деятельности) решать на высоком уровне профессиональные задачи, совершенствовать профессиональные знания, умения и навыки, сохраняя при этом психологическое и соматическое здоровье, социальный статус и профессиональную компетенцию.

С учетом актуальности данного направления, было проведено исследование сотрудников федеральной противопожарной службы МЧС России (далее - ФПС МЧС России), чья профессиональная деятельность проходит в условиях Кольского Заполярья [3].

Служба в условиях Кольского Заполярья характеризуется необходимостью выполнять служебные задачи и обязанности в экстремальных климатических условиях (резкие колебания температуры и влажности воздуха в течение суток, высокое атмосферное давление, скорость ветра, недостаток солнечного излучения, геомагнитная активность, особая фотопериодичность дня: полярный день и полярная ночь), а так же в режиме оперативной готовности и реагирования, физического и психоэмоционального напряжения, повышенной социальной и профессиональной ответственности, высокой степени риска потери здоровья и жизни [1].

Целью исследования являлось изучение влияния экзистенциальных и личностных факторов, экстремальных условий профессиональной деятельности и климатических особенностей Кольского Заполярья на профессиональное долголетие сотрудников ФПС МЧС России.

Экспериментальную выборку исследования составили 176 сотрудников ФПС МЧС России г. Мурманска в возрасте от 19 до 42 лет. Первая группа – 56 сотрудников со стажем работы до 5 лет ($n_1=56$); вторая группа – 73 сотрудника со стажем работы от 5 до 10 лет ($n_2=73$); третья группа – 47 сотрудников со стажем работы свыше 10 лет ($n_3=47$).

Для изучения экзистенциальной исполненности и осмысленности жизни применялась методика «Шкала экзистенции» (А. Лэнгле, К. Орглер) [5].

Методика состоит из 46 вопросов, отвечая на которые сотрудники оценивали себя и свою жизнь по различным аспектам. Ответы на вопросы интерпретировались по следующим шкалам и субшкалам:

1. Шкала «Персональность» (P) = субшкала «Самодистанцирование» (SD) + субшкала «Самотрансценденция» (ST).

2. Шкала «Экзистенциальность» (E) = субшкала «Свобода» (F) + субшкала «Ответственность» (V).

3. Шкала «Общий показатель» (G) = шкала «Персональность» (P) + шкала «Экзистенциальность» (E).

В своих исследованиях В. Франкл показал, что обнаружение смысла в экзистенциальной ситуации невозможно без четырех базовых антропологических способностей человека, которые в свою очередь можно соотнести с субшкалами данной методики: воспринимать – субшкала «Самодистанцирование» (SD), чувствовать – субшкала «Самотрансценденция» (ST), выбирать – субшкала «Свобода» (F), делать – субшкала «Ответственность» (V).

По шкале «Персональность» (P) результаты показали, что у 1 (2%) сотрудника со стажем работы до 5 лет низкий уровень, у 53 (95%) сотрудников – средний уровень, у 2 (3%) сотрудников – высокий уровень; у 40 (55%) сотрудников со стажем работы от 5 до 10 лет низкий уровень, у 31 (42%) сотрудника – средний уровень, у 2 (3%) сотрудников – высокий уровень; у 37 (79%) сотрудников со стажем работы свыше 10 лет низкий уровень, у 10 (21%) сотрудников – средний уровень (рис. 1).

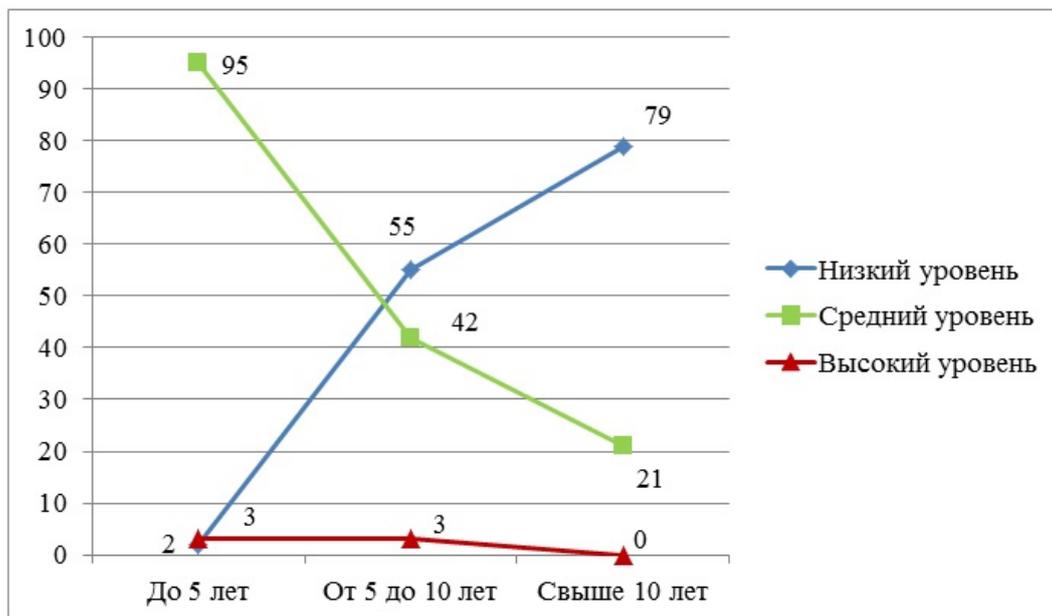


Рис. 1. Результаты по шкале «Персональность»(P), в %

У сотрудников, которые набрали от 0 до 86 баллов (низкий уровень) по шкале «Персональность» (P), можно наблюдать закрытость и замкнутость, причинами которых могут являться продолжительные душевные нагрузки и личностные расстройства, либо незрелость или уже пережитый процесс разрушения личности, который нарушил когнитивные и аффективные аспекты.

Сотрудники, набравшие от 87 до 122 баллов (средний уровень), «открыты» к самим себе и к окружающему миру.

Сотрудники, которые набрали от 123 до 132 баллов (высокий уровень) очень ранимы, чувствительности, мнительны.

По шкале «Экзистенциальность» (E) результаты показали, что у 17 (30%) сотрудников со стажем работы до 5 лет низкий уровень, у 38 (68%) сотрудников – средний уровень, у 1 (2%) сотрудника – высокий уровень; у 6 (8%) сотрудников со стажем работы от 5 до 10 лет низкий уровень, у 57 (78%) сотрудников - средний уровень, у 10 (14%) - высокий уровень; у 2 (5%) сотрудников со стажем работы свыше 10 лет низкий уровень, у 45 (74%) сотрудника – средний уровень, у 10 (21%) сотрудников - высокий уровень (рис. 2).

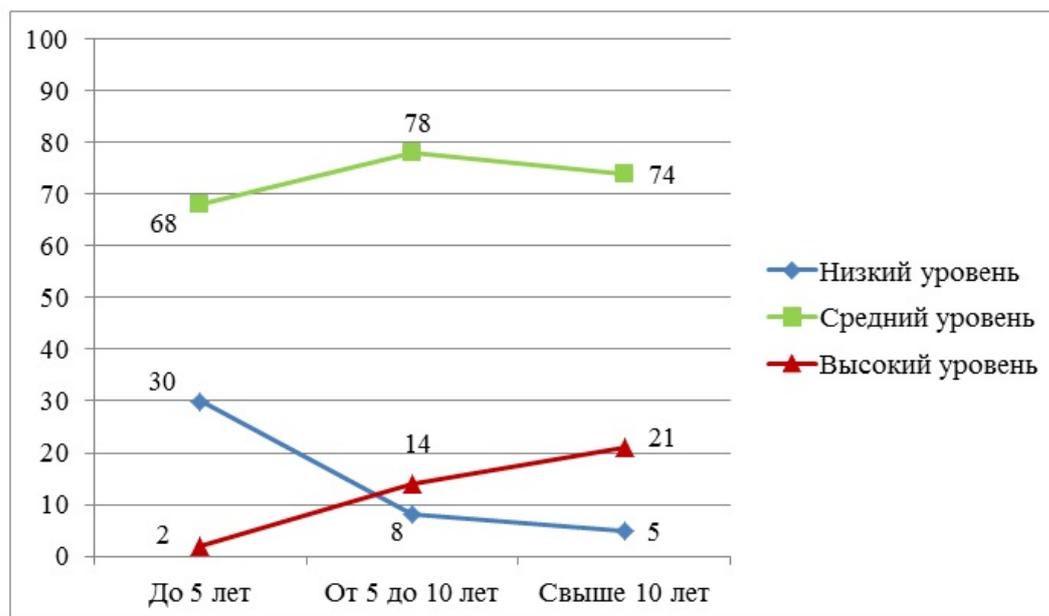


Рис. 2. Результаты по шкале «Экзистенциальность»(E), в %

Сотрудники, набравшие от 0 до 81 баллов (низкий уровень) по шкале «Экзистенциальность» (E) испытывают затруднения в принятии решений и в определении «экзистенциального места» (место индивида в жизни), необязательны, тревожны, чувствительны к помехам, действуют на основании внешних побудителей без внутренней поддержки и осознания действий.

У сотрудников, которые набрали от 82 до 127 баллов (средний уровень) наблюдается растущая степень ответственности за здоровье и жизнь, стремление найти своё место в мире и устроить свою жизнь.

У сотрудников, набравших от 127 до 144 баллов (высокий уровень) имеется собственное четкое представление о мире и отношении к нему, уверенность в собственном решении.

По шкале «Общий показатель» (G) результаты показали, что у 3 (5%) сотрудников со стажем работы до 5 лет низкий уровень, у 53 (95%) сотрудников – средний уровень; у 12 (17%) сотрудников со стажем работы от 5 до 10 лет низкий уровень, у 61 (83%) сотрудника - средний уровень; у 19 (40%) сотрудников со стажем работы свыше 10 лет низкий уровень, у 28 (60%) сотрудников – средний уровень (рис. 3).

Сотрудники, которые набрали от 0 до 169 баллов (низкий уровень) закрыты от общества, заиклены на себе, эмоционально неспособны к диалогу, нерешительны, стеснительны, что указывает на не исполненную экзистенцию.

Сотрудники, набравшие 170 до 248 баллов (средний уровень) открыты к внешнему миру, осознают свои возможности и перспективы.

Сотрудники, набравшие от 249 до 275 баллов (высокий уровень) - характеризуют себя как очень открытые, восприимчивые, решительные, готовые к действию, испытывающие чувство долга, но в то же время достаточно ранимы и предъявляют к себе высокие требования.

Результаты сравнения групп n_1 и n_2 показали, что между ними существуют различия по всем переменным (шкалам) (табл. 1-3).

Результаты 1 ($n_2 = 56$) и 2 ($n_3 = 73$) групп были обработаны с помощью t - критерия Стьюдента, с целью получения достоверности различий на уровне статистической значимости. Статистически значимыми являются различия, когда величина $t_{ЭМП} > t_{кр(p \leq 0,01)}$.

Статистически значимых различий между показателями выборок нет, когда величина $t_{Эмп} < t_{Кр}(p \leq 0,05)$.

Полученные эмпирические значения по шкале «Персональность» (Р) ($t_{Эмп} = 7,8$) и по шкале «Экзистенциальность» (Е) ($t_{Эмп} = 6,2$) находятся в зоне значимости, по шкале «Общий показатель» (G) ($t_{Эмп} = 1$) находятся в зоне незначимости (табл. 4, рис. 4).

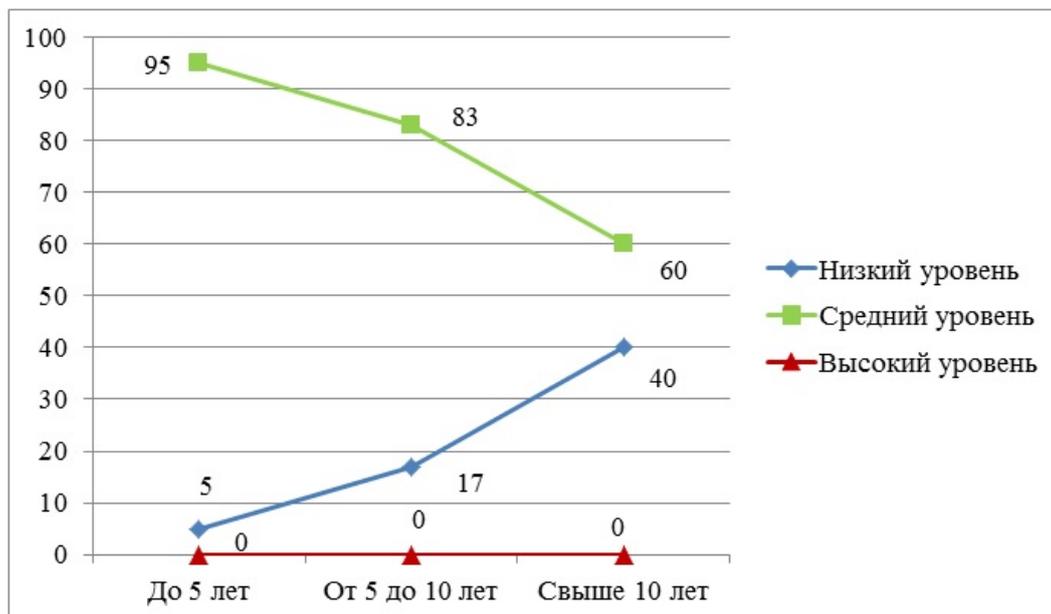


Рис. 3. Результаты по шкале «Общий показатель»(G), в %

Таблица 1

Сводка соответствующих (n1 и n2)

Результаты	Статистика	Наборы данных	
		n1	n2
Респонденты	Количество	56	73
Наблюдения сравнены	Количество	56	56
	Проценты	100,0%	76,7%
Наблюдения, которые не сравнены	Количество	0	17
	Проценты	0,0%	23,3%

Таблица 2

Несоответствующие по наблюдениям(n₁ и n₂)

Наблюдения сравнены	Количество	56
Наблюдения, которые содержат несоответствия	Количество	56
	Проценты	100,0%

Таблица 3

Несоответствующие по переменным (шкалам) (n_1 и n_2)

Шкала	Несоответствующие	
	Количество	Проценты*
P	54	96,4%
E	56	100,0%
G	55	98,2%

* на основе сравнения 56 наблюдений

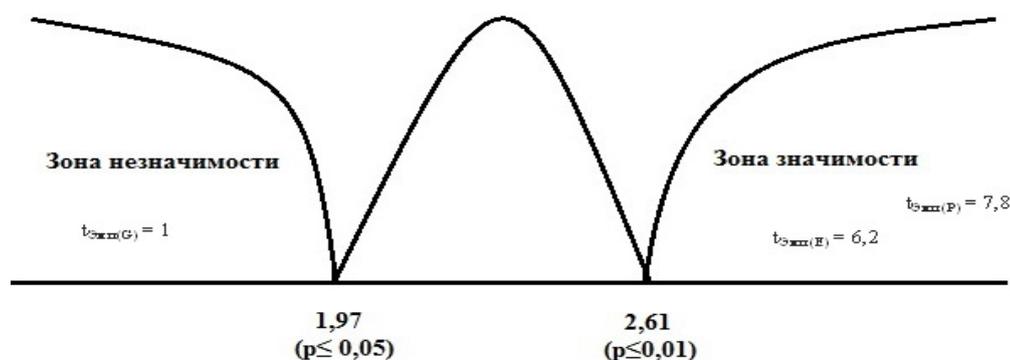


Рис. 4. Ось значимости (n_1 и n_2)

Таблица 4

Критические и эмпирические значения (n_1 и n_2)

Шкала	$t_{кр}$		$t_{эмп}$
	$p \leq 0,05$	$p \leq 0,01$	
P	1.97	2.61	7.8
E	1.97	2.61	6,2
G	1.97	2.61	1

Результаты сравнения групп n_1 и n_3 показали, что между ними существуют различия по всем переменным (шкалам) (табл. 5-7).

Таблица 5

Сводка соответствующих (n_1 и n_3)

Результаты	Статистика	Наборы данных	
		n_1	n_3
Респонденты	Количество	56	47
Наблюдения сравнены	Количество	47	47
	Проценты	83,9%	100,0%
Наблюдения, которые не сравнены	Количество	9	0
	Проценты	16,1%	0,0%

Таблица 6

Несоответствующие по наблюдениям (n_1 и n_3)

Наблюдения сравнены	Количество	47
Наблюдения, которые содержат несоответствия	Количество	47
	Проценты	100,0%

Таблица 7

Несоответствующие по переменным(шкалам) (n_1 и n_3)

Шкала	Несоответствующие	
	Количество	Проценты*
P	47	100,0%
E	46	97,9%
G	45	95,7%

* на основе сравнения 47 наблюдений

Результаты 1 ($n_2 = 56$) и 3 ($n_3 = 47$) групп были обработаны с помощью t - критерия Стьюдента, с целью получения достоверности различий на уровне статистической значимости. Статистически значимыми являются различия, когда величина $t_{Эмп} > t_{Кр(p \leq 0,01)}$. Статистически значимых различий между показателями выборок нет, когда величина $t_{Эмп} < t_{Кр(p \leq 0,05)}$.

Полученные эмпирические значения по шкалам «Персональность» (P) ($t_{Эмп} = 11,8$), «Экзистенциальность» (E) ($t_{Эмп} = 7,4$), «Общий показатель» (G) ($t_{Эмп} = 2,8$) находятся в зоне значимости (табл. 8, рис. 5).

Результаты сравнения групп n_2 и n_3 показали, что между ними существуют различия по всем переменным (шкалам) (табл. 9-11).

Результаты 2 ($n_2 = 73$) и 3 ($n_3 = 47$) групп были обработаны с помощью t - критерия Стьюдента (табл. 12), с целью получения достоверности различий на уровне статистической значимости. Статистически значимыми являются различия, когда величина $t_{Эмп} > t_{Кр(p \leq 0,01)}$.

Статистически значимых различий между показателями выборок нет, когда величина $t_{Эмп} < t_{Кр(p \leq 0,05)}$.

Полученные эмпирические значения по шкале «Персональность» (Р) ($t_{Эмп} = 3,9$) находятся в зоне значимости, по шкалам «Экзистенциальность» (Е) ($t_{Эмп} = 1,8$) и «Общий показатель» (G) ($t_{Эмп} = 1,9$) находятся в зоне незначимости (табл. 12, рис. 6).

Таблица 8

Критические и эмпирические значения (n_1 и n_3)

Шкала	$t_{кр}$		$t_{Эмп}$
	$p \leq 0,05$	$p \leq 0,01$	
Р	1.97	2.61	11,8
Е	1.97	2.61	7,4
G	1.97	2.61	2.8

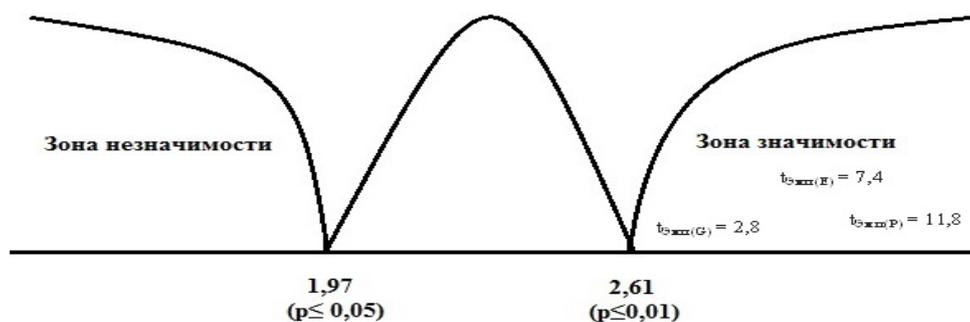


Рис. 5. Ось значимости (n_1 и n_3)

Таблица 9

Сводка соответствующих (n_2 и n_3)

Результаты	Статистика	Наборы данных	
		n_2	n_3
Респонденты	Количество	73	47
Наблюдения сравнены	Количество	47	47
	Проценты	64,4%	100,0%
Наблюдения, которые не сравнены	Количество	26	0
	Проценты	35,6%	0,0%

Таблица 10

Несоответствующие по наблюдениям (n_2 и n_3)

Наблюдения сравнены	Количество	47
Наблюдения, которые содержат несоответствия	Количество	47
	Проценты	100,0%

Таблица 11

Несоответствующие по переменным(шкалам) (n_2 и n_3)

Шкала	Несоответствующие	
	Количество	Проценты*
P	47	100,0%
E	47	100,0%
G	47	100,0%

* на основе сравнения 47 наблюдений

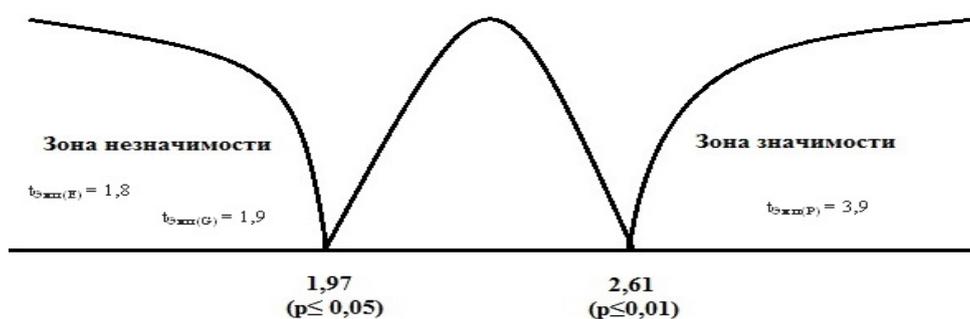


Рис. 6. Ось значимости (n_2 и n_3)

Таблица 12

Критические и эмпирические значения(n_2 и n_3)

Шкала	$t_{кр}$		$t_{эмп}$
	$p \leq 0,05$	$p \leq 0,01$	
P	1.97	2.61	3,9
E	1.97	2.61	1,8
G	1.97	2.61	1,9

Выводы:

1. Для разной возрастной категории сотрудников ФПС МЧС России существуют специфические взаимосвязи экзистенциальных ценностей с личностными особенностями, поведенческими установками и способами реагирования.

2. Экзистенциальные факторы и климатические условия Кольского Заполярья предъявляют повышенные требования к адаптационному потенциалу личности, могут создавать предпосылки развития стрессовых состояний у сотрудников ФПС МЧС России и, как следствие, приводить к снижению мотивации профессиональной деятельности.

3. Полученные результаты выявили статистически значимые различия между сотрудниками со стажем работы до 5 лет и сотрудниками со стажем работы свыше 10 лет, это может свидетельствовать о том, что чем больше стаж профессиональной деятельности в условиях Кольского Заполярья, тем сильнее экзистенциальные факторы влияют на эффективность выполнения служебных задач, уровень адаптации (физиологической, психологической, социальной), стрессоустойчивость и профессиональное долголетие сотрудников ФПС МЧС России.

Литература

1. Антонов А.А. География Мурманской области / А.А.Антонов и др.; под общ. ред. В.В. Крючкова. Мурманск: Кн. изд-во. - 1993. - 160 с.
2. Ассаджиоли Р. Психосинтез: принципы и техники / М.: Психотерапия. - 2008. - 384 с.
3. Горячева Е.В. Дифференцированная оценка последствий влияния основных психотравмирующих факторов профессиональной деятельности в климатических условиях Кольского Заполярья на психоэмоциональное состояние сотрудников ФПС МЧС России // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. - 2014. - № 6. - С. 114-121.
4. Леонтьев А.Н. Лекции по общей психологии/М.: СМЫСЛ. - 2000. - 511 с.
5. Лэнгле А. Экзистенциально-аналитическая теория личности / М.: Генезис. - 2005.
6. Лэнгле А. Экзистенциальный анализ – найти согласие с жизнью // Московский психотерапевтический журнал. - 2001. - №1. - С. 5–23.
7. Майнина И.Н., Васанов А.Ю. Стандартизация опросника «Шкала экзистенции» А. Лэнгле, К. Орглер // Психологический журнал. - 2010. - № 1. - С. 87–99.
8. Мещеряков Б.Г., Зинченко В.П. Большой психологический словарь/СПб.: Прайм-Еврознак. - 2003. — 632 с.
9. Реан А.А. и др. Психология адаптации личности. Анализ. Теория. Практика/ СПб.: Прайм-Еврознак. - 2006. - 479 с.
10. Франкл В. Психотерапия и экзистенциализм /М.: Институт общегуманитарных исследований. - 2015. - 192 с.

Сведения об авторе:

Горячева Елена Викторовна, - аспирант ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России», младший научный сотрудник ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 121352, г. Москва, ул. Давыдовская, д. 7, тел. 8-(495)-400-90-33, моб. тел. 8(925)259-52-77, e-mail: lenka_27@mail.ru

МОНИТОРИНГ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ В РАМКАХ ЗАДАЧ, ВЫПОЛНЯЕМЫХ МЧС РОССИИ

Доктор биолог. наук, кандидат мед. наук, *И.В. Пляскина*,
В.К. Кусилов, Е.В. Горячева
ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ)

В статье рассматриваются вопросы мониторинга ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий с использованием федеральной государственной информационной системы «Информационно-аналитическая система в области ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий» в рамках задач, выполняемых пожарно-спасательными подразделениями МЧС России по оказанию помощи пострадавшим в дорожно-транспортных происшествиях.

Ключевые слова: дорожно-транспортное происшествие, мониторинг ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий, информационно-аналитическая система в области ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий.

MONITORING OF LIQUIDATION OF CONSEQUENCES OF ROAD ACCIDENTS WITHIN THE OBJECTIVES OF THE EMERCOM OF RUSSIA.

Dr. (Bio.), Ph.D. (Tech.) *I.V. Playskina*,
V.K. Kusilov, E. V. Goryacheva
FC VNI GOCHS EMERCOM of Russia

In article questions of monitoring the elimination of the consequences of road traffic accidents using the federal state information system "Information-analytical system for the elimination of the consequences of road traffic accidents" in the framework of the tasks performed by fire and rescue units of EMERCOM of Russia in providing assistance to affected of road traffic accidents.

Key words: road traffic accident, monitoring of elimination of the consequences of road traffic accidents, information-analytical system for the elimination of the consequences of road traffic accidents.

В реализации федеральных целевых программ «Повышение безопасности дорожного движения в 2006-2012 годах» и «Повышение безопасности дорожного движения в 2013-2020 годах» активно участвовало и участвует Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий [1,2]. Территориальными органами МЧС России проводится постоянная целенаправленная работа по совершенствованию системы спасения пострадавших в дорожно-транспортных происшествиях (далее – ДТП) и ликвидации их последствий. Важная роль при этом отводится мониторингу ликвидации последствий ДТП.

Мониторинг позволяет получать, обобщать и анализировать данные о реагировании пожарно-спасательных подразделений МЧС России на дорожно-транспортные происше-

ствия, о проведении аварийно-спасательных работ по деблокированию пострадавших из поврежденного автотранспорта, об использовании в работах аварийно-спасательного оборудования, инструмента и приспособлений, о проведении органами исполнительной власти мероприятий по совершенствованию системы спасения пострадавших в ДТП, о состоянии системы комплексной безопасности на автодорогах федерального и регионального значения и ряд других.

Мониторинг ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий, в рамках задач выполняемых МЧС России, начал осуществляться в 2007 году с созданием на базе федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций (федеральный центр науки и высоких технологий)» «Центра мониторинга ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий» (далее – Центр ДТП) (Приказ МЧС России от 04.09.2007г. № 474).

За время работы Центра ДТП, в интересах мониторинга ликвидации последствий ДТП были разработаны и установлены на его программно-аппаратной платформе различные программно-информационные продукты, которые модернизировались, совершенствовались и в 2012 году были интегрированы в федеральную государственную информационную систему «Информационно-аналитическая система в области ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий» (далее – ФГИС «ИАС-ДТП») [4].

ФГИС «ИАС-ДТП» была создана в рамках реализации федеральной целевой программы «Повышение безопасности дорожного движения в 2006-2012 годах» в 2012 году и ежегодно совершенствовалась в последующие годы, в том числе в рамках выполнения мероприятий федеральной целевой программы «Повышение безопасности дорожного движения в 2013-2020 годах».

ФГИС «ИАС-ДТП» предназначена для решения следующих задач:

автоматизированный сбор, анализ, хранение и визуализация обобщенных данных о реагировании пожарно-спасательных подразделений на дорожно-транспортные происшествия, проводимые работы на месте ДТП, организации деятельности территориальных органов управления МЧС России в области совершенствования систем спасения пострадавших в ДТП, об организационном и техническом обеспечении пожарно-спасательных подразделений в субъектах Российской Федерации, участии территориальных органов МЧС России в региональных целевых программах в области безопасности дорожного движения;

образовательно-пропагандистская деятельность территориальных органов МЧС России и подготовки личного состава пожарно-спасательных подразделений;

автоматизированный расчет коэффициента реагирования пожарно-спасательных подразделений на дорожно-транспортных происшествиях на основе заложенного математического аппарата с использованием имеющихся данных;

автоматизированный сбор и хранение информации о нормах в области перевозки опасных грузов автомобильным транспортом, характеристик аварийно-опасных веществ, перевозимых автомобильным транспортом (аварийные карточки), мультимедийных материалов о ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий при перевозках опасных грузов;

сбор и хранение результатов работ, выполненных по заказу МЧС России в рамках реализации мероприятий Программы;

сбор и отображение информации о современных методах, формах и приемах спасения пострадавших в дорожно-транспортных происшествиях с использованием сети интернет;

материалы для обучения специалистов, участвующих в ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий, различных категорий населения действиям при ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий;

поддержка принятия управленческих решений при ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий при перевозках опасных грузов;

информационно-справочное обеспечение рационального применения современных систем обнаружения и оповещения при межведомственном взаимодействии при ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий территориальных органов МЧС России;

компьютерное моделирование типовых сценариев дорожно-транспортных происшествий при перевозках опасных грузов по различным методикам расчета (сжиженные углеводородные газы, легко воспламеняемые жидкости) их последствий по обобщенным данным;

сбор и учет сведений об объектах инфраструктуры, связанных с оказанием помощи лицам, пострадавшим в дорожно-транспортных происшествиях, вдоль автомобильных дорог федерального и регионального значения.

Работа с электронным архивом реализована через специальный web-сайт. Вся информация хранится в единой централизованной базе данных. В сети Internet ФГИС «ИАС-ДТП» расположена по адресу www.abdtp.ru.

Для работы с электронным архивом необходимо, чтобы на персональный компьютер был установлен браузер Internet Explorer (версии 7 или выше) или Mozilla Firefox (версии 3 или выше) с установленным Flash Player (версии 10.2 или выше).

Система базируется на реляционной модели данных, то есть на таблицах и связях между таблицами.

Данные в таблицы вносятся в специальных экранах редактирования. Некоторые поля заполняются путём выбора нужного значения из выпадающего списка (справочник), остальные поля заполняются путём ввода числового или строкового значения с клавиатуры.

В настоящее время ФГИС «ИАС-ДТП» состоит из пяти основных модулей с ограниченным доступом пользователей, в том числе:

- Программно-аппаратный комплекс автоматизированной базы данных участия пожарно-спасательных подразделений в ликвидации последствий ДТП;
- Электронная библиотека работ, выполненных МЧС России в рамках ФЦП «Повышение безопасности дорожного движения в 2006-2012 годах»;
- Банк данных объектов инфраструктуры, связанных с оказанием помощи лицам, пострадавшим в ДТП вдоль автомобильных дорог федерального и регионального значения;
- Программно-технический комплекс мониторинга реализации региональных целевых программ в области безопасности дорожного движения;
- Электронная библиотека работ, выполненных МЧС России в рамках ФЦП «Повышение безопасности дорожного движения в 2013-2014 годах».

И четырех модулей, не требующих авторизации, в том числе:

- Программный комплекс с использованием компьютерных моделей типовых сценариев дорожно-транспортных происшествий при перевозке опасных грузов;
- Информационно-справочная система по организации рационального применения современных систем обнаружения и оповещения при межведомственном взаимодействии при ликвидации последствий ДТП в субъектах Российской Федерации;
- Информационно-образовательный портал по современным формам, методам и приемам спасения пострадавших в ДТП;
- Комплект нормативно-методических документов «Ликвидация последствий дорожно-транспортных происшествий: библиотека начальника территориального органа МЧС России».

ФГИС «ИАС-ДТП» используют для совершенствования системы ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий за счет повышения эффективности управления мероприятиями МЧС России, направленными на развитие системы оказания помощи

пострадавшим в дорожно-транспортных происшествиях путем реализации комплексного подхода к организации реагирования аварийно-спасательных и пожарных подразделений на ДТП и обеспечивающей организационные и технические процессы.

В соответствии с «Регламентом ведения территориальными органами МЧС России информационных ресурсов в области развития системы спасения пострадавших в дорожно-транспортных происшествиях» (утвержден заместителем Министра МЧС России А.П. Чуприяном, с изменениями и дополнениями от 18.01.2016 г. № 43-136) сбор и учёт сведений об организации деятельности в области развития системы спасения пострадавших в ДТП осуществляется с целью создания территориально-распределенной системы информационного обеспечения и методической поддержки осуществления мероприятий в области развития системы спасения пострадавших в ДТП – многоуровневой структуры автоматизированных рабочих мест в центральном аппарате МЧС России, профильных организациях центрального подчинения, региональных центрах, главных управлениях МЧС России по субъектам Российской Федерации, территориальных и местных пожарно-спасательных гарнизонов (фактически - существующих рабочих мест с доступом к сети Internet) [5].

Общее методическое руководство и контроль деятельности территориальных органов МЧС России и всех категорий пользователей системы в части полноты, качества и своевременности сбора, учета и представления информации об организации деятельности в области совершенствования системы спасения пострадавших в ДТП (в том числе сведений о показателях реагирования подразделений на ДТП, вносимых в ФГИС «ИАС-ДТП») осуществляет «Центр мониторинга ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий» ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), который является главным конструктором и администратором ФГИС «ИАС-ДТП».

Так, в январе-сентябре 2015 года в Российской Федерации произошло 133 203 ДТП, в результате которых погибло 16 638 человек, а 168 146 человек получили ранения [3].

Пожарно-спасательными подразделениями (далее – ПСП) в январе - сентябре 2015 года осуществлено 99533 выезда на ДТП. Помощь оказана 104360 гражданам, из них первая помощь оказана 73890 пострадавшим, психологическая помощь оказана 283 гражданам, спасено 73284 человека (из них деблокировано 13990), иная помощь оказана 20821 гражданину. Проведено 170282 работы (технологические операции), среднее время прибытия к месту ДТП составило 6,4 минуты. Коэффициент реагирования в целом по стране составил 0,9 или 90% (реагирование на 9 ДТП из 10-ти).

В абсолютных значениях реагирование ПСП на ДТП составило: г. Севастополь – 58 выездов, Республика Крым – 112 выездов, г. Москва – 1608 выездов, Северо-Кавказский региональный центр – 4407 выездов, Дальневосточный региональный центр – 5148 выездов, Уральский региональный центр – 7323 выезда, Южный региональный центр – 8093 выезда, Сибирский региональный центр – 13375 выездов, Северо-Западный региональный центр – 13956 выездов, Приволжский региональный центр – 22205 выездов, Центральный региональный центр – 23246 выездов [6].

Сведения о ФГИС «ИАС-ДТП» внесены в реестр федеральных государственных информационных систем (паспорт № ФС-77150413 от 29 июня 2015 г.), так же на все модули ФГИС «ИАС-ДТП» получены свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ и Баз данных. Распоряжением МЧС России от 09.02.2015 г. № 19 ФГИС «ИАС-ДТП» введена в эксплуатацию в системе МЧС России.

Программное обеспечение ФГИС «ИАС-ДТП» обеспечивает доступ к функциональным подсистемам на федеральном, межрегиональном и региональном уровнях посредством использования сети Интернет.

Литература

1. Федеральная целевая программа «Повышение безопасности дорожного движения в 2006 – 2012 годах».
2. Федеральная целевая программа «Повышение безопасности дорожного движения в 2013 – 2020 годах».
3. <http://www.abdtp.ru>. Ресурс Федеральной государственной информационной системы «Информационно-аналитическая система в области ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий»// Центр мониторинга ликвидации последствий ДТП, ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ).
4. <http://www.gibdd.ru>. Ресурс официального сайта ГИБДД МВД России.
5. Регламент ведения территориальными органами МЧС России информационных ресурсов в области развития системы спасения пострадавших в дорожно - транспортных происшествиях / МЧС России. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). - 2016. - 101 с.
6. Информационно-аналитический бюллетень об организации деятельности территориальных органов МЧС России в области реагирования пожарно-спасательных подразделений на дорожно-транспортные происшествия в субъектах Российской Федерации январе-сентябре 2015 года / МЧС России: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). - 2015 - 124 с.

Сведения об авторах

Пляскина Ирина Владимировна, - ведущий научный сотрудник Центра мониторинга ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 121352, г. Москва, Давыдовская ул., д. 7. Тел. 8-(495)-400-90-33, E-mail: centriskdtp@mail.ru

Вячеслав Константинович Кушилов, - старший научный сотрудник Центра мониторинга ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 121352, г. Москва, Давыдовская ул., д. 7. Тел. 8-(495)-400-90-33, E-mail: centriskdtp@mail.ru

Горячева Елена Викторовна, - младший научный сотрудник Центра мониторинга ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 121352, г. Москва, Давыдовская ул., д. 7. Тел. 8-(495)-400-90-33, E-mail: centriskdtp@mail.ru

Реферативный журнал ВИНТИ «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 ВИНТИ РАН, а также заключить договоры на приобретение реферативного журнала в электронной форме (ЭлРЖ) Вы можете в **Коммерческом управлении** по адресу:

125190, Россия, г. Москва, ул. Усиевича, 20,

Телефоны: 8 (499) 155-45-25; (499) 152-52-81

Факс: 8 (499) 155-45-25;

E-mail: contact@viniti.ru

Реферативный журнал ВИНТИ «ПОЖАРНАЯ ОХРАНА»

Реферативный журнал "Пожарная охрана" - периодическое издание ВИНТИ 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 ВИНТИ РАН, а также заключить договоры на приобретение реферативного журнала в электронной форме (ЭлРЖ) Вы можете в **Коммерческом управлении** по адресу:

125190, Россия, г. Москва, ул. Усиевича, 20,

Телефоны: 8 (499) 155-45-25; (499) 152-52-81

Факс: 8 (499) 155-45-25;

E-mail: contact@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 в **Коммерческом управлении** по адресу:

125190, Россия, г. Москва, ул. Усиевича, 20,

Телефоны: 8 (499) 155-45-25; (499) 152-52-81
Факс: 8 (499) 155-45-25;
E-mail: contact@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 25.03.2016 г. Формат 60x84 1/8
Печать цифровая. Бум. офсетная. Усл. печ. л. 14,00 Уч.-изд. л. 11,03 Тираж 111 экз.
Адрес редакции: 125190, Москва, ул. Усиевича, д. 20
Тел. 8 (499) 155-44-21, e-mail: tranbez@viniti.ru

**Центр (Отдел) научно-информационного обслуживания
(ЦНИО) ВИНТИ РАН**

**предлагает услуги по предоставлению
информационно-аналитических обзоров**

ВИНТИ РАН осуществляет подготовку информационно-аналитических обзоров по инновационным и приоритетным направлениям научных исследований в области точных, естественных и технических наук. Обзоры готовятся ведущими специалистами ВИНТИ, работающими в определенных областях науки и техники. Аналитические материалы содержат результаты анализа и обобщения информации по актуальным научным проблемам, а в некоторых случаях – и прогностические выводы. Основой для составления обзоров служит отечественная и зарубежная научно-техническая литература, доступная ВИНТИ РАН: фонд НТЛ, включающий более 2 млн. отечественных и иностранных журналов, книг, депонированных рукописей, авторефератов диссертаций и другой научной литературы, ретроспектива – с 1987 года. Имеется доступ к базам данных и Интернет-ресурсам: БД ВИНТИ (разработка ВИНТИ), БД SCOPUS, БД зарубежных патентов и другим. Кроме того, ВИНТИ доступны зарубежные электронные платформы ряда ведущих научных издательств, издающих основную часть академических рецензируемых журналов изданий, в полнотекстовом варианте.

Основные тематические направления предлагаемых обзоров:

- Науки о жизни;
- Физико-математические науки;
- Химия и науки о материалах;
- Индустрия наносистем и материалов;
- Науки о Земле;
- Рациональное природопользование;
- Информационно-телекоммуникационные системы;
- Энергетика, энергоэффективность, энергосбережение;
- Транспортные, авиационные и космические системы;
- Производственные технологии.

Предлагается подготовка и заказ информационно-аналитических обзоров и материалов по тематике заказчика. Такие обзоры могут относиться к упомянутым выше тематическим направлениям, но могут иметь и междисциплинарный характер. В этом случае обзоры отражают актуальную научную информацию и научные достижения, происходящие на стыке наук.

Более подробная информация о приобретении, заказе и цене обзоров представлена на сайте ВИНТИ www.viniti.ru

Приобретение и заказ обзоров от юридических лиц проводится на договорной основе.

Обращаться в ЦНИО ВИНТИ:

- адрес: 125190, Россия, г. Москва, ул.Усиевича, 20.
- телефоны: 8(499) 155 -42 -43, 8(499) 155 -42 -17
- эл. почта cnio@viniti.ru, fdk@viniti.ru.
- факс 8(499) 930 -60 -00 (для ЦНИО).