

ВСЕРОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ (ВИНИТИ)

ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Научный информационный сборник

Издается с 1990 г.

№ 4

Москва 2022

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

- Журавков М.А., Богданович А.В., Николайчик М.А., Махутов Н.А., Гаденин М.М., Резников Д.О.* Комплексное исследование многоциклового контактного взаимодействия системы «направляющий ролик-шахтный проводник»..... 5
- Гаврилов С.Л., Яковлев В.Ю., Пантелеев В.А., Сегаль М.Д.* Вероятностный анализ безопасности третьего уровня как средство поддержки принятия решений при определении зон планирования защитных мероприятий АЭС 19
- Викулов О.В., Качанов С.А., Капральный Ю.В.* Новейшая отечественная система пожаротушения СП-32 для модернизированных вертолетов марки КА-32 27

Защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций

- Седнев В.А.* Теоретические положения по обеспечению защиты населения при авариях на химически опасных объектах 39

Информационная безопасность

- Дурнев Р.А., Жданенко И.В.* Методический подход к созданию экспертных систем для выбора рациональной технологии спасения 56
- Дурнев Р.А., Жданенко И.В.* Алгоритмы нечёткого вывода для выбора рациональной технологии спасения 65

Статистические данные о чрезвычайных ситуациях в России и за рубежом

- Нехорошев С.Н., Подрезов Ю.В., Романов А.С., Тимошенко З.В.* Особенности возникновения и последствия цунами в 2021 -2022 годах 74
- Подрезов Ю.В.* Методические особенности определения и оценки факторов, влияющих на динамику чрезвычайных лесопожарных ситуаций 81
- Абельмазов В.В.* Современные особенности возникновения массовых лесных пожаров 85
- Подрезов Ю.В., Абельмазов В.В.* О некоторых методических особенностях оценки защищенности функционирования объектов, расположенных на лесной площади, в условиях массовых лесных пожаров 88

Стандартизация и метрология в сфере безопасности

<i>Махутов Н.А., Лепихин А.М., Лещенко В.В.</i> Научные основы нормативного обеспечения прочности и безопасности морских подводных трубопроводов	94
--	----

Contents

<i>Zhuravkov M.A., Bogdanovich A.V., Nikolaichik M.A., Makhutov N.A., Gadenin M.M., Reznikov D.O.</i> Comprehensive study of multi-cycle contact interaction of the "guide roller-mine conductor" system	5
<i>Gavrilov S.L., Yakovlev V.Yu., Panteleev V.A., Segal M.D.</i> Level 3 probabilistic safety assessment to support decision-making on NPP boundaries of emergency planning and protective action zones	19
<i>Vikulov O.V., Kachanov S.A., Kapralniy Yu.V.</i> The latest domestic fire extinguishing system SP-32 for upgraded KA-32 helicopters	27
<i>Sednev V.A.</i> Analysis of factors affecting the organization protection of the population in case of chemical accidents dangerous objects of Stavropol territory	39
<i>Durnev R.A., Zhdanenko I.V.</i> Methodological approach to the creation of expert systems to choose a rational rescue technology	56
<i>Durnev R.A., Zhdanenko I.V.</i> Fuzzy inference algorithms for selection rational rescue technology	65
<i>Nekhoroshev S.N., Podrezov J.V., Romanov A.S., Timoshenko Z.V.</i> Features of the origin and consequences of the tsunami in 2021-2022	74
<i>Podrezov J.V.</i> Methodological features of the determination and evaluation of factors affecting the dynamics of emergency forest fire situations	81
<i>Abelmazov V.V.</i> Modern features of mass forest fires	85
<i>Podrezov J.V., Abelmazov V.V.</i> On some methodological features of assessing, the protection of the functioning of objects located on a forest area under conditions of mass forest fires	88
<i>Makhutov N.A., Lepikhin A.M., Leshchenko V.V.</i> Scientific foundations for regulations of strength and safety of subsea pipelines	94

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) 155-42-85, (499) 155-44-61

**АНАЛИЗ
ПУБЛИКАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ СБОРНИКА**

(по состоянию на 31.12.2020)

Наукометрический показатель	Значение
Число статей за год	77
Двухлетний импакт-фактор в РИНЦ	0,188
Двухлетний импакт-фактор в РИНЦ с учетом цитирования из всех источников	0,757
Пятилетний импакт-фактор РИНЦ	0,314

Сборник занимает 75 место в рейтинге SCIENCE INDEX по тематике "Общие и комплексные проблемы технических и прикладных наук и отраслей народного хозяйства"

**ВЕДЕТСЯ ПОДПИСКА
НА НАУЧНЫЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ СБОРНИК
«ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ
И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ»
НА 2022 ГОД**

ВНИМАНИЮ АВТОРОВ!

В научном информационном сборнике «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций» к публикуемым статьям вводится **Цифровой идентификатор объекта** (англ. **Digital Object Identifier** сокр. **DOI**) – стандарт ISO 26324:2012 обозначения представленной в сети Интернет информации об объекте.

DOI – это уникальный стандартизованный цифровой код, который присваивается каким-либо материалам, размещенным в сети Интернет.

В научных трудах, а также при формировании перечня литературы и собственных публикаций в настоящее время принято указывать DOI. Цифровой идентификатор DOI поможет компактно представить сведения о документе, и упростит поиск нужного материала среди массива публикаций, находящихся в сети.

ВНИМАНИЮ АВТОРОВ И ЧИТАТЕЛЕЙ!

Все статьи, подлежащие опубликованию в научном информационном сборнике «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций» подлежат проверке редколлегией на наличие заимствований. Проверка осуществляется посредством сервиса «АНТИПЛАГИАТ». Результаты проверки оформляются в виде справки, с указанием процента: заимствования, цитирования и оригинальности. Для опубликования статьи рекомендован процент оригинальности – 75.

**КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОЦИКЛОВОГО
КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМЫ
«НАПРАВЛЯЮЩИЙ РОЛИК-ШАХТНЫЙ ПРОВОДНИК»**

**Доктор физ.-мат. наук М.А. Журавков, доктор техн. наук А.В. Богданович,
М.А. Николайчик**

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Член-корреспондент РАН Н.А. Махутов,

канд. техн. наук М.М. Гаденин, канд. техн. наук Д.О. Резников

**Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук,
Москва, Россия**

Представлены результаты моделирования многоциклового контактного износа элементов системы «направляющий ролик-шахтный проводник». Произведена верификация модифицированного аналитического алгоритма моделирования усталостного износа результатами экспериментальных исследований. Разработана конечно-элементная модель оценки количества циклов до усталостного разрушения проводника при различных вариантах силового взаимодействия со скипом, а также параметров контакта между направляющими роликами и проводником.

Ключевые слова: многоцикловое нагружение, усталостный износ, конечно-элементное моделирование.

**COMPREHENSIVE STUDY OF MULTI-CYCLE CONTACT INTERACTION
OF THE "GUIDE ROLLER-MINE CONDUCTOR" SYSTEM**

**Dr. (Phys.-Mat.) M.A. Zhuravkov, Dr. (Tech.) A.V. Bogdanovich, M.A. Nikolaichik
Belarusian State University, Minsk, Belarus**

Corresponding Member of the RAS N.A. Makhutov,

Ph.D (Tech) M.M. Gadenin, Ph.D (Tech) D.O. Reznikov

**The A.A. Blagonravov Mechanical Engineering Research Institute
of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia**

The article presents the results of modeling the high-cycle contact wear of the components of the "guide roller-mine conductor" system. Verification of the modified analytical algorithm for modeling fatigue wear by the outcome of experimental studies was carried out. A finite element model has been developed for estimating the number of cycles to fatigue failure of the conductor under various options for force interaction with the skip, as well as the contact parameters between the guide rollers and the conductor.

Keywords: high-cycle loading, fatigue wear, finite element modeling.

Введение

Среди многих явлений, определяющих прочность и ресурс и приводящих к эксплуатационному повреждению ответственных узлов высоконагруженных элементов подъемно-транспортного оборудования, наряду с опасными процессами хрупкого, циклическое и длительное разрушения с развитием трещин, исключительно важное значение имеют изнашивание, эрозия и износоусталостные повреждения [1].

Как правило, ведущим является один повреждающий процесс, хотя почти каждому из них могут сопутствовать и другие механизмы повреждения. Так, при взаимодействии двух твердых тел посредством трения качения, кроме выкрашивания, наблюдается и изнашивание отслаиванием, а при проскальзывании наряду с фреттинг-коррозией — и фреттинг-изнашивание.

Поскольку изнашивание, усталость, эрозия — явления, лимитирующие эксплуатационную надежность современной техники, то это и вызвало бурное развитие наук о надежности материалов и узлов по критериям износостойкости, сопротивления усталости, эрозионной стойкости. В рамках указанных наук оценку несущей способности материалов и деталей производят дифференцированно, по отдельным (частным) критериям. И это естественно: существует широкий класс деталей, работающих, скажем, либо только в условиях трения скольжения или трения качения, либо только при повторно-переменных нагрузках, либо только в условиях длительного ударного воздействия двухфазных потоков (сред) и (или) облучения. Однако и работоспособность широкого класса силовых систем, в которых одновременно сочетаются анализируемые явления, традиционно оценивают лишь по частным критериям (рис. 1).

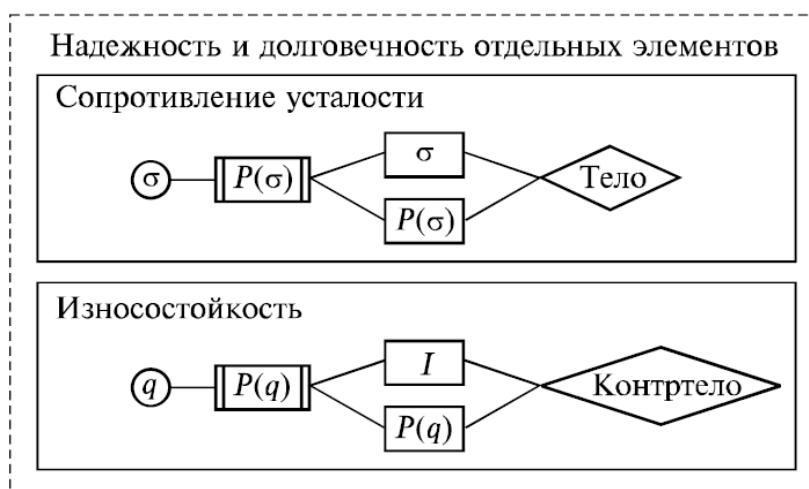


Рис. 1. Схема традиционного подхода к оценке надежности силовых элементов по отдельным критериям

При комплексной оценке повреждаемости силовых элементов подъемно-транспортных систем следует различать два эффекта — прямой и обратный. Прямой эффект — влияние процессов и условий трения и изнашивания на сопротивление усталости элементов системы. Обратный эффект — влияние повторно-переменных напряжений (деформаций) на изменение характеристик износостойкости силовой системы. Из анализа реальной работы рассматриваемых элементов в реальных условиях эксплуатации следует, что для расчетной оценки их надежности, согласующейся с эксплуатационными данными, необходим комплексный подход (рис. 2).

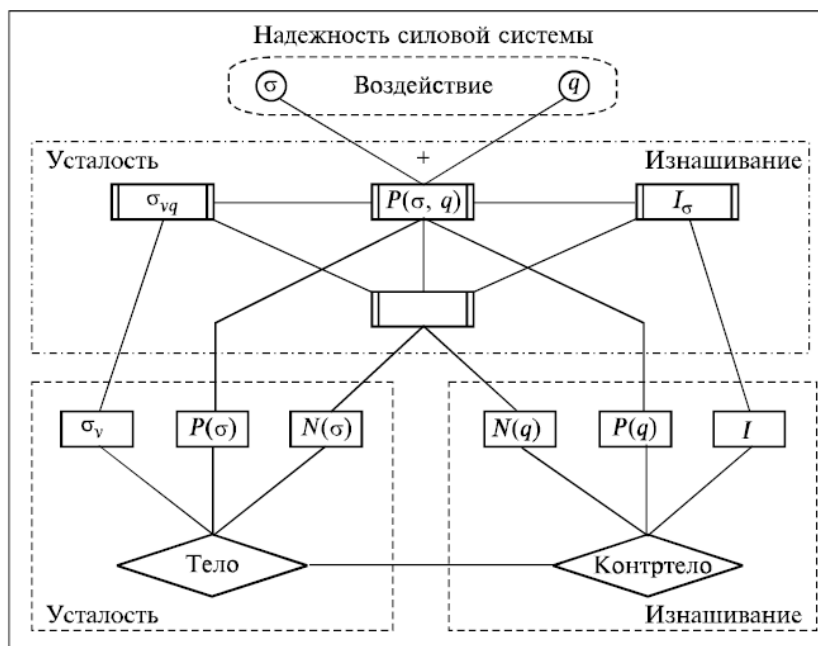


Рис. 2. Схема комплексного подхода к оценке надежности силовых систем по критериям усталости и износостойкости

Такой подход, базирующийся на достижениях теорий прочности и надежности механических систем, механики разрушения, трибологии с введением в анализ непрерывной и локальной поврежденности на базе материаловедения, термодинамики, физико-химической механики материалов, получил название трибофатики [2], в рамках которой изучают механику, физикохимию и термодинамику комплексных процессов деформирования и разрушения твердых тел при многокомпонентном воздействии.

Обобщение имеющихся в настоящее время результатов научных и практических разработок по фундаментальным и прикладным проблемам безопасности сложных технических систем указывают на важность комплексных подходов в вопросах износа, усталости, эрозии, коррозии, фреттинга. Такие подходы, наряду с дифференцированным анализом напряженно-деформационных и предельных состояний от каждого из указанных выше повреждающих факторов, дают возможность рассматривать и их интегральные воздействия. Это, в свою очередь, определяет надежность, ресурс и живучесть как одни из важнейших показателей безопасности.

Подъемные установки занимают чрезвычайно важное место в работе горно-шахтного предприятия при подземной добыче полезного ископаемого. Они используются как для подъема полезного ископаемого на поверхность, спуска в шахты крупногабаритной техники и механизмов, так и для спуска/подъема персонала.

Обеспечение безаварийного режима работы подъемной установки требует решения большого набора задач механики. Это обусловлено наличием значительного количества ответственных элементов в системе, при этом каждый из элементов представляет собой самостоятельную механическую систему и имеет собственный режим работы.

Одним из ключевых элементов подъемного шахтного комплекса является подъемный сосуд. В свою очередь, центральным элементом, в значительной мере определяющим работу подъемного сосуда, является контактная группа «направляющие ролики подъемного сосуда–проводники». Поэтому, задача построения механико-математических моделей для

исследования поведения и состояния данной контактной группы под действием многоциклового нагружения, является актуальной. Отметим, что ряд моделей, описывающих контактное взаимодействие элементов группы «направляющие ролики подъемного сосуда–проводники», приведен в [3].

В данной статье рассматриваются результаты экспериментально-аналитических исследований механической контактной усталости силовой системы «ролик/вал» на примере геотехнической системы «направляющий ролик скипа-шахтных проводник». Подробное описание рассматриваемой системы, а также алгоритм определения величин сил контактного взаимодействия в зависимости от эксплуатационных режимов данной геотехнической системы приведены в статьях [4–7].

Помимо этого, в статье представлены результаты конечно-элементного моделирования многоциклового взаимодействия скипа с проводником, учитывающее воздействия как со стороны одного направляющего ролика, так и двух.

Экспериментально-аналитическая модель контактного взаимодействия

Испытаниям на контактно-механическую усталость подвергали силовую систему «ролик-вал», выполненные, соответственно из стали 25ХГТ (ролик) и стали 45 (вал). Свойства стали 25ХГТ были выбраны следующими: предел выносливости $\sigma_{-1} = 570$ МПа, предел контактной усталости $p_f = 3100$ МПа. Свойства стали 45: $\sigma_{-1} = 260$ МПа и $p_f = 1760$ МПа. Таким образом, характерная особенность данной силовой системы состояла в том, что прочность металла вала существенно меньше, чем ролика, поэтому в процессе испытаний обнаруживаются остаточные деформации и повреждения только в окрестности дорожки качения на валу, тогда как размеры ролика остаются практически неизменными.

Изгибающей нагрузке $Q = 225 \text{ Н} = \text{const}$ соответствует амплитуда напряжений $\sigma_a = 225 \text{ МПа} < \sigma_{-1} = 260 \text{ МПа}$. Контактная нагрузка изменялась ступенчато по программе, показанной на рис. 4. Предел контактной выносливости $p_f = 1760$ МПа был превышен на III-ей ступени нагружения.

Схема испытаний, а также протокол испытаний исследуемой системы приведены на рисунках 3 и 4.

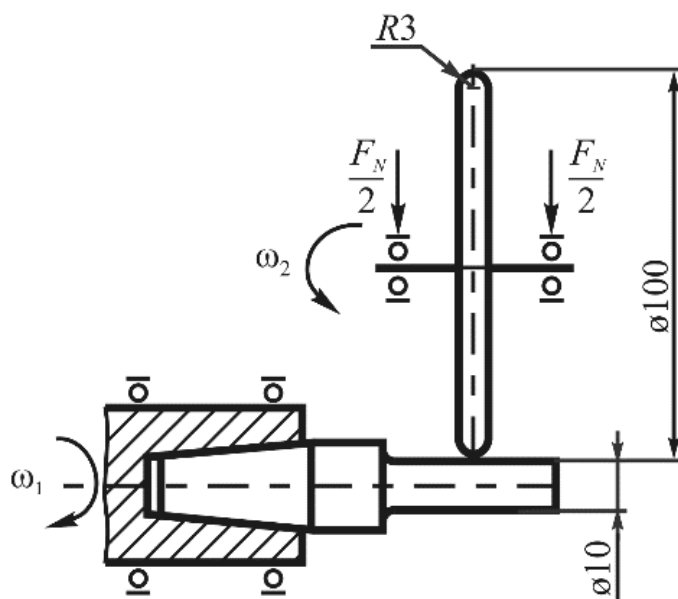


Рис. 3. Схема испытаний

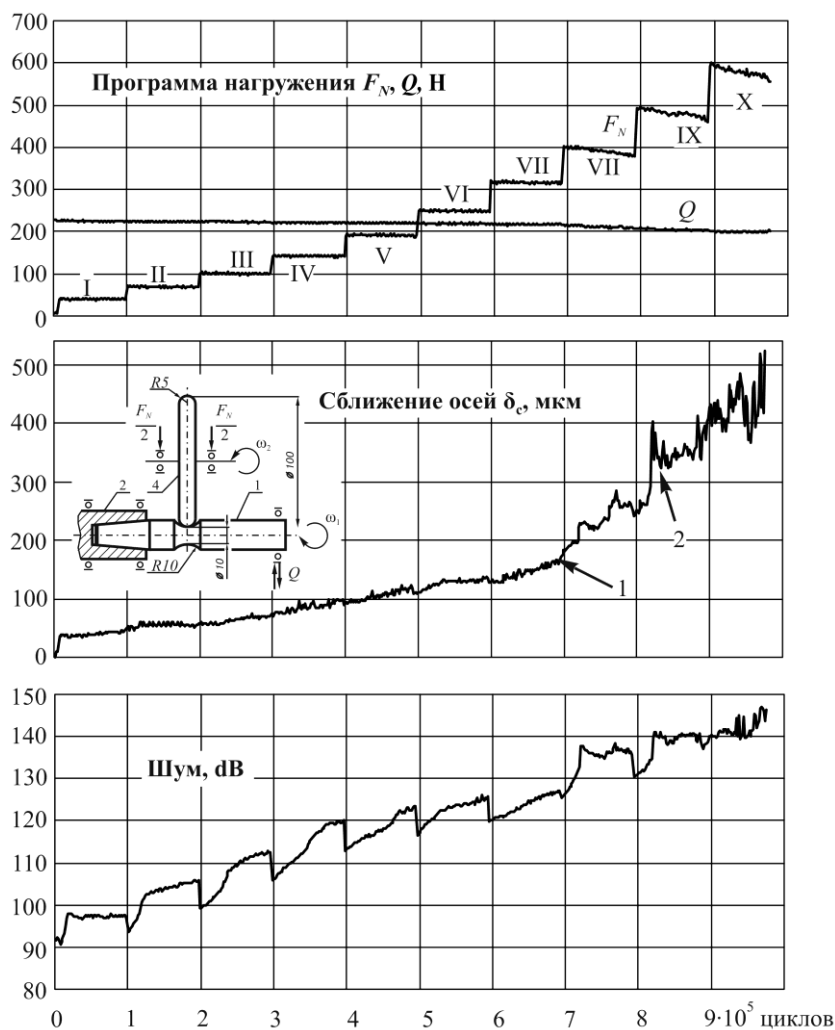


Рис. 4. Протокол испытаний системы ролик (сталь 25ХГТ) / вал (сталь 45) на контактно-механическую усталость [8]

Движение ролика по валу стало нестационарным при переходе с VII на VIII ступень контактного нагружения, т.е. после 700000 циклов испытаний (см. стрелку 1 на рис. 4). Остаточные радиальные деформации вала в зоне нестационарности показаны на рис. 5 светлыми точками (750154 цикла нагружения, т.е. посередине ступени VIII). На IX ступени произошла потеря устойчивости движения (см. стрелку 2 на рис. 4). Остаточные радиальные деформации вала при потере устойчивости движения показаны на рис. 5 крестиками (851688 циклов нагружения, т.е. посередине ступени IX). Испытания прекращены на X ступени при $N_{\Sigma}=976100$ циклов нагружения из-за недопустимых вибраций и шума. Остаточные деформации вала в зависимости от количества циклов представлены на рис. 5.

Главные особенности повреждения вала таковы. На дорожке качения образовывались несколько своеобразных застывших волн поверхностной пластической деформации. Они представляют собой совокупность нерегулярных лунок полубочкообразной формы. Ни одна из лунок не повторяется, каждая из них имеет свои, отличающиеся от других, размеры во всех трех измерениях – радиальном, осевом, окружном. Величина относительной пластической деформации (в условиях данного опыта) достигает 10 % в радиальном и 30 % в осевом направлениях.

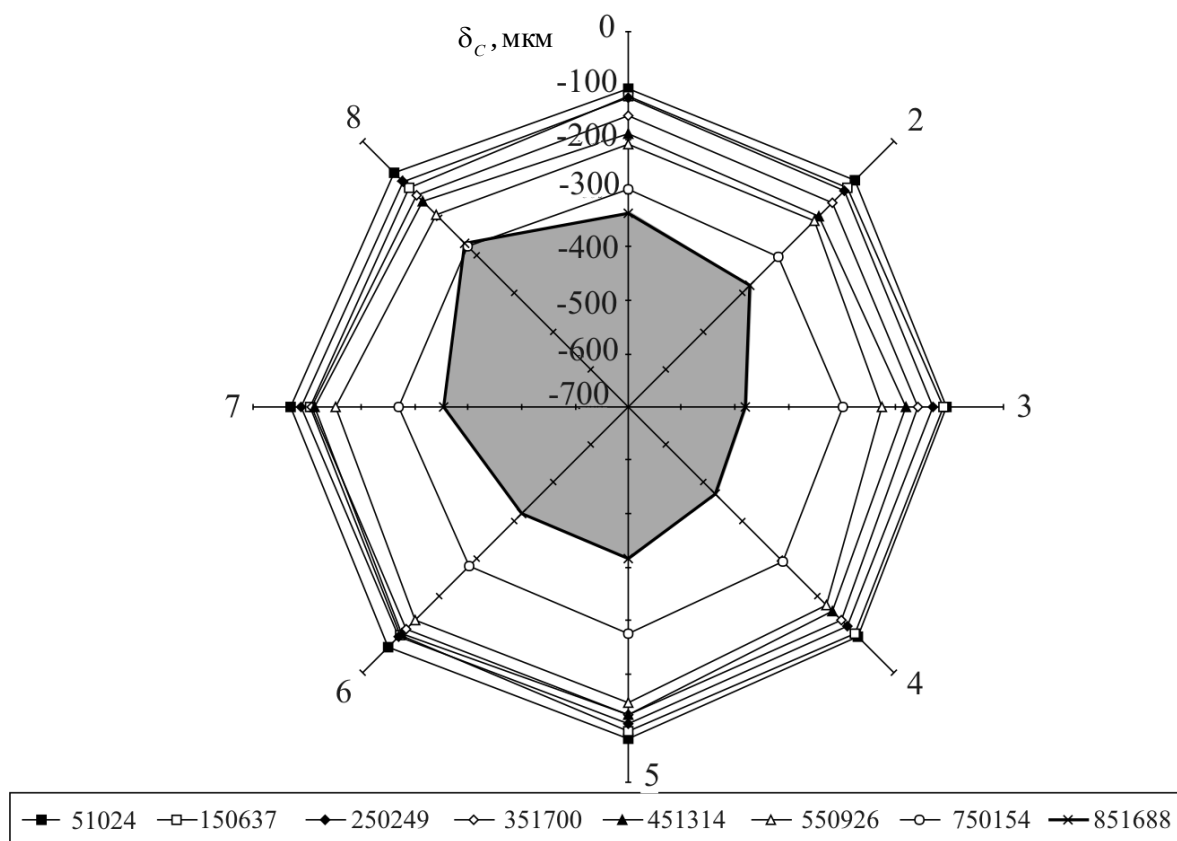


Рис. 5. Изменение радиальной остаточной деформации (мкм) в зависимости от числа циклов нагружения в 8 точках по диаметру вала [9]

Параллельно рассмотрена модель локального износа с учетом частичного фреттинга, приведенная в [10], которая была реализована на примере скипового подъемника. Разработаны модификации алгоритма, которые необходимо было выполнить для применения его к условиям экспериментальных исследований, описанных здесь ранее. Для этого необходимо было унифицировать модель для многоциклового контактного износа под воздействием переменной нормальной нагрузки, задаваемой в соответствии со схемой, приведенной на рис. 4.

При реализации алгоритма используется величина $\chi = \sqrt{1 - \frac{Q_*}{fP}}$, где Q_* – касательная нагрузка, P – нормальная нагрузка, f – коэффициент трения [11, 12]. Несложно заметить, что данная величина будет иметь комплексное значение при условии $\frac{Q_*}{fP} > 1$. До тех пор, пока данная величина не станет чисто действительной, предполагается, что деформирование системы «ролик-вал» происходит в упругом режиме и величины усталостных деформаций являются незначительными. Данный факт подтверждается анализом диаграммы сближения осей на рис. 4. Можно заметить, что сближение осей до VII шага нагружения происходит практически линейно, а с конца VII шага наблюдается значительный рост сближения осей с возникновением «биений», обусловленных существенным накоплением усталостных деформаций и изменением геометрии области контакта.

Также, для расширения предложенной в [10] методики на случай многоциклового износа с заданной программой нагружения, в конце каждого шага учитывается накопленный износ с предыдущего шага.

Таким образом, на каждом этапе нагружения решалась представленная в [10] задача и определялись величины:

$$W(N) = W_{\infty} \left(1 - \exp \left(-\frac{N}{N_1} \right) \right) - \text{величина износа в зависимости от количества циклов};$$

$$a(N) = a_{\infty} - (a_{\infty} - a_0) \exp \left(-\frac{N}{N_1} \right) - \text{полуширина изношенной зоны контакта};$$

$$w(N) = \frac{a^2(N)}{6R} - \frac{x^2}{2R} + \frac{K_w \Delta x}{a(N)} PN + \frac{2P}{\pi E^*} \left(\frac{3}{2} - \ln 2 - l \left(\frac{x}{a(N)} \right) \right) - \text{распределение глубины износа, } l(\xi) = 1 - \frac{1}{2} \ln \frac{1}{1 - \xi^2} + \frac{\xi}{2} \ln \frac{1 - \xi}{1 + \xi}.$$

В данном случае, для сравнения с экспериментальными данными интересует величина глубины износа, соответствующая радиальной остаточной деформации вала, полученной в восьми его точках (рис. 5).

Решая поставленную задачу, получаем следующие результаты, приведенные на рис. 6 для заданной истории нагружения (разными цветами обозначены шаги нагружения, начиная с VII):

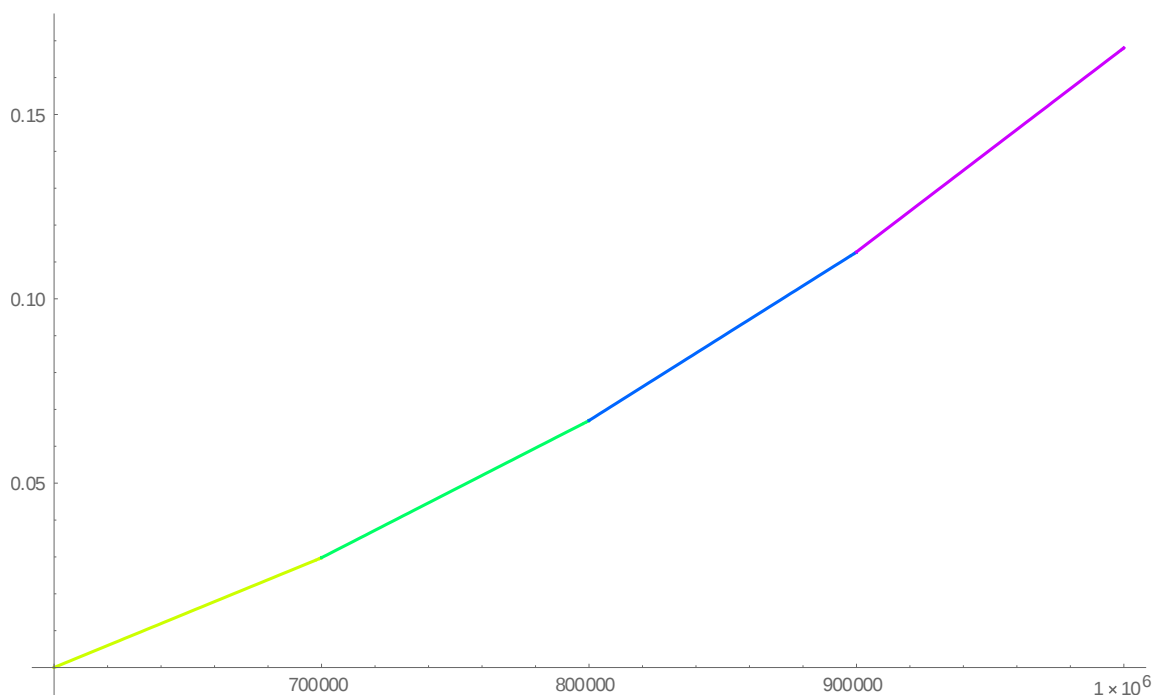


Рис. 6. Глубина износа $w(N)$, мм

Как можно заметить, присутствует определенная корреляция между величинами усталостных деформаций, полученных экспериментально и вычисленных при проведении модельных расчетов. Из сравнения рисунков 5 и 4 видно, что при проведении эксперимента были получены радиальные остаточные деформации величиной 0,3-0,4 мм, в то время как

модельные исследования дают результат примерно равный 0,17 мм. Данный факт объясняется допущением при составлении механико-математической модели об отсутствии возникновения усталостных деформаций в ролике. Также, стоит отметить, что в предложенной в [10] модели не учитывается воздействие температурных эффектов, оказывающих существенное влияние на напряженно-деформированное состояние элементов системы при испытаниях, рассматриваемых в [8, 9].

Стоит отметить, что необходимо продолжить развитие и модификацию приведенного алгоритма с целью его дальнейшего уточнения для случая нагружения, описанного в экспериментальном исследовании.

Конечно-элементное моделирование усталостного износа проводника

Рассмотрим задачу конечно-элементного моделирования усталостного износа проводника при различных конфигурациях контактного взаимодействия с направляющими роликами как в одной, так и в двух плоскостях.

При постановке модельной задачи учитывалось закрепление проводника на его концах, система роликов расположена по центру балки. К роликам приложена распределенная нагрузка амплитудой 100 кН [7].

Материал проводника – сталь 245. Ролик представляет собой прорезиненную снаружи сталь, поэтому при моделировании были выбраны усредненные значения показателей механических констант. Эффективный модуль Юнга рассчитывался по формуле:

$$\frac{1}{E} = \frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2},$$

где $E_1 = 200$ ГПа – модуль Юнга стали, а $E_2 = 180$ МПа – модуль Юнга резины.

Коэффициент Пуассона для резины составлял 0,49, для стали – 0,3.

Проводник и ролики в рассматриваемой задаче принимались изотропными упругопластическими телами.

Положение системы роликов рассматривалось в середине балки, так как в этом случае, на наибольшем расстоянии от концов одного пролета проводника, имеют место условия для возникновения максимального изгибающего момента, а, следовательно, и максимальных напряжений.

При проведении усталостного анализа необходимо выбрать цикл изменения напряжений, для этого следует определить, какой характер нагрузки испытывает анализируемая деталь во время эксплуатации. Существует два основных вида циклов напряжения: симметричный и несимметричный. При этом, всякий несимметричный цикл можно рассматривать как сумму постоянного напряжения и симметричного цикла. При выполнении модельных исследований был выбран частный случай несимметричного цикла напряжения – пульсирующий (отнулевой) [13].

Коэффициент асимметрии:

$$R = \frac{S_{\min}}{S_{\text{mean}}},$$

где $S_{\min}$ – минимальное напряжение цикла, S_{mean} – среднее напряжение цикла.

Для симметричного цикла $R = -1$. В случае, когда коэффициент R отличен от этого значения, тогда в элементе системы существует среднее напряжение. Объем разрушений, вы-

званный циклом напряжений, зависит не только от переменного напряжения, но и от среднего напряжения. Переменное напряжение вычисляется как половина разности максимального и минимального напряжений в цикле:

$$S_a = \frac{(S_{\max} - S_{\min})}{2},$$

Свойства выносливости материала обычно определяются на основе испытаний с использованием симметричного цикла напряжений с постоянной амплитудой. На практике эксплуатируемые детали редко испытывают такой тип нагрузки. С другой стороны, проведение испытаний для различных средних напряжений или соотношений напряжений может оказаться неэффективным и очень затратным. При исследовании рассматривались следующие методы корректировки среднего напряжения:

а) Метод Гудмана – обычно используется для хрупких материалов:

$$S_{ca} = \frac{S_a}{1 - \left(\frac{S_{mean}}{S_u} \right)},$$

б) Метод Гербера – обычно используется для пластичных материалов:

$$S_{ca} = \frac{S_a}{1 - \left(\frac{S_{mean}}{S_u} \right)^2},$$

в) Метод Содерберга – самый консервативный:

$$S_{ca} = \frac{S_a}{1 - \left(\frac{S_{mean}}{S_y} \right)},$$

где S_y – предел текучести, S_{ca} – скорректированное переменное напряжение, S_{mean} – среднее напряжение, S_u – предел прочности.

Перечисленные методы коррекции среднего напряжения можно представить в виде сводного графика (рис. 7).

Эти методы используются для учета средних напряжений и корректировки уровня напряжений, для того, чтобы сравнить циклы напряжений со стандартной $S-N$ кривой, полученной для симметричного цикла напряжений при $R = -1$.

Для выбора типа напряжений, по которому будет идти оценка усталости конструкции, используем коэффициент Надаи-Лодэ:

$$\mu = 2 \frac{(\sigma_2 - \sigma_3)}{(\sigma_1 - \sigma_3)} - 1,$$

Значение $\mu = 1$ соответствует случаю обобщенного сжатия, $\mu = -1$ – обобщенного растяжения, а $\mu = 0$ – чистого сдвига.

Результаты моделирования (рис. 8.а,б) показывают, что в области концентрации напряжений для обоих рассматриваемых случаев преобладают напряжения растяжения и сдвига. Поэтому для оценки усталости конструкции помимо эквивалентных выбираем также касательные напряжения.

Далее на рисунках приведены некоторые результаты численных экспериментов.

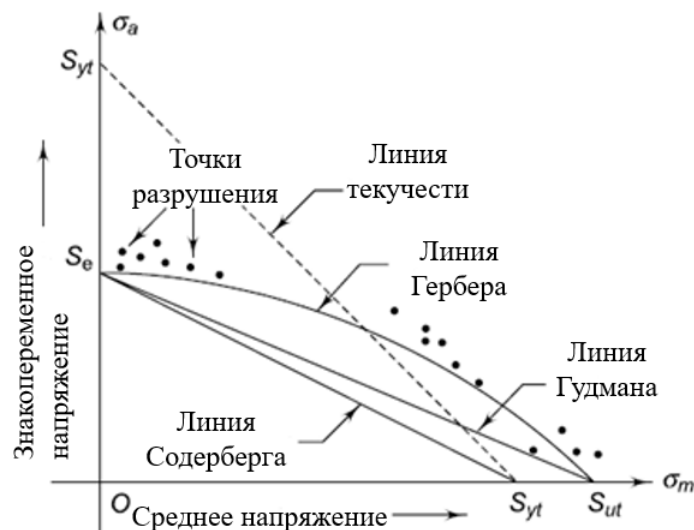


Рис. 7. Графики уравнений методов коррекции среднего напряжения

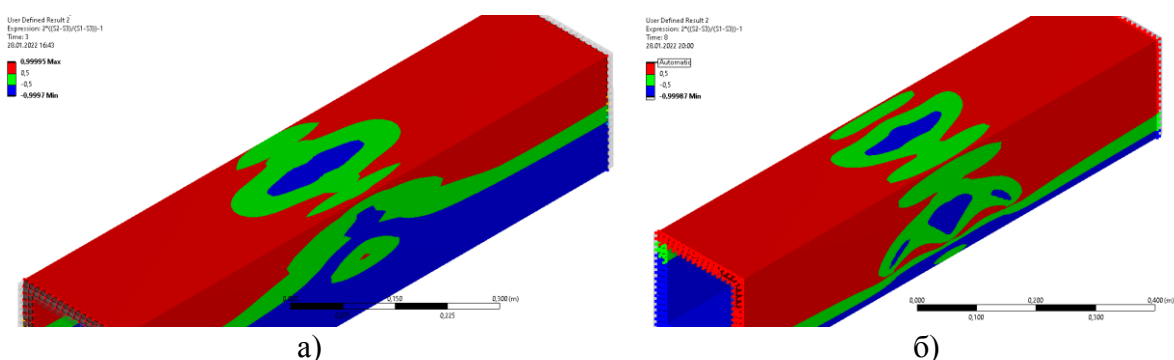


Рис. 8. Распределение коэффициента Надаи-Лодэ в зоне контакта для контакта с коэффициентом трения 0,3: а) для одного ролика, б) для двух роликов

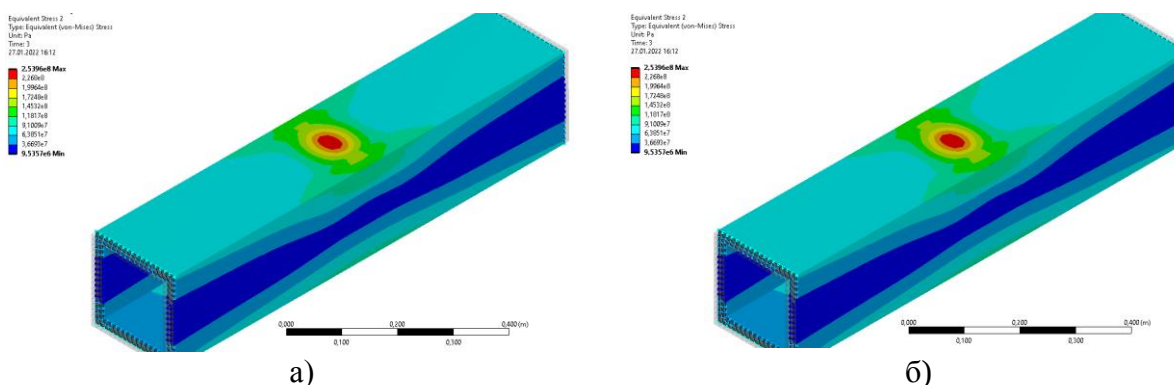


Рис. 9. Эквивалентные напряжения при воздействии на проводник одного ролика: а) контакт без трения, б) контакт с коэффициентом трения 0,3

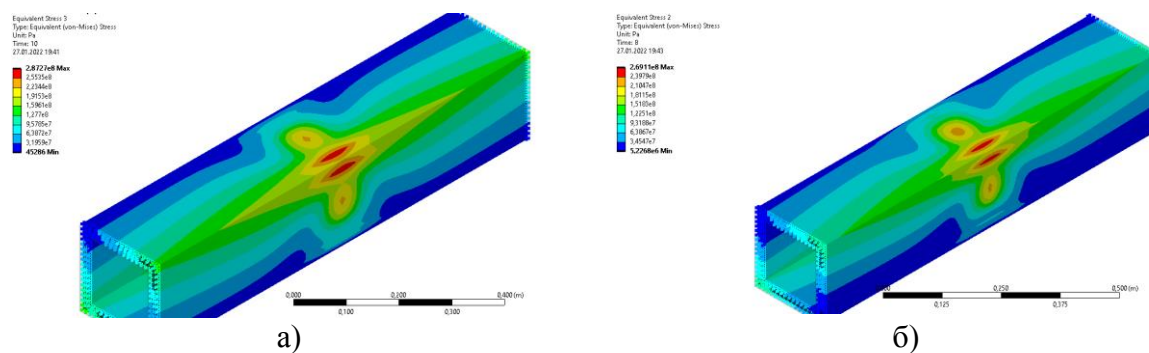


Рис. 10. Эквивалентные напряжения при воздействии на проводник двух роликов:
а) контакт без трения, б) контакт с коэффициентом трения 0,3

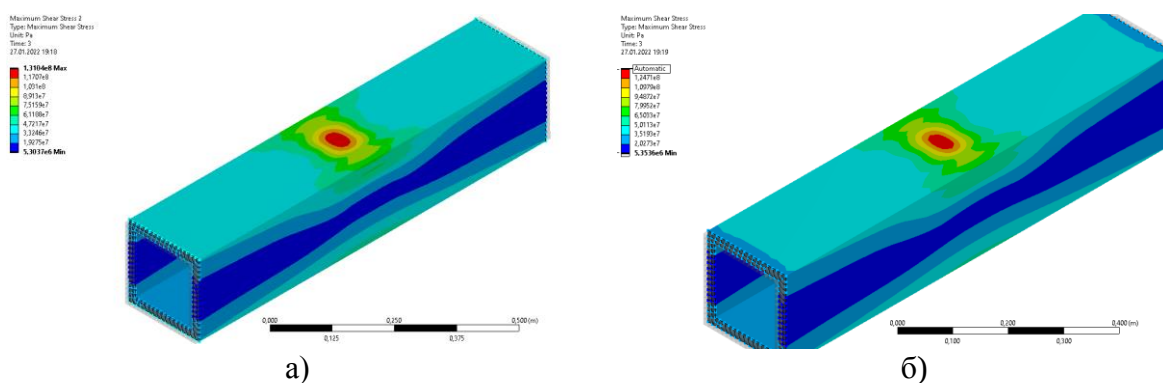


Рис. 11. Максимальные касательные напряжения при воздействии на проводник одного ролика:
а) контакт без трения, б) контакт с коэффициентом трения 0,3

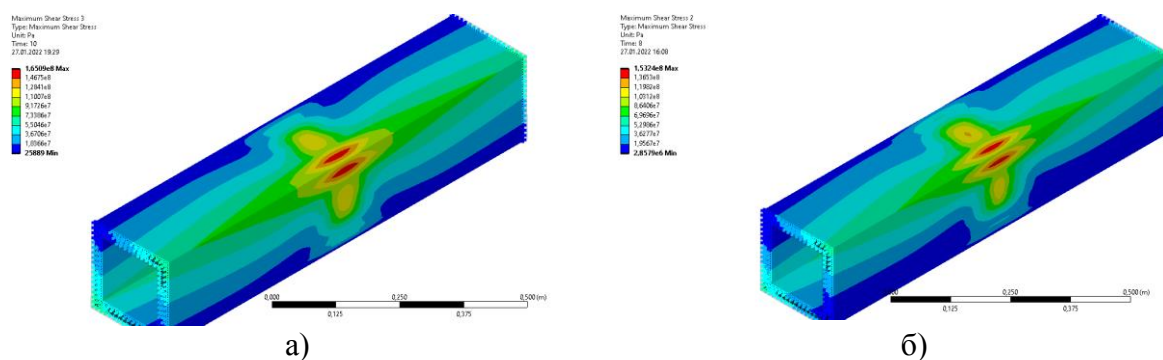


Рис. 12. Максимальные касательные напряжения при воздействии на проводник двух роликов:
а) контакт без трения, б) контакт с коэффициентом трения 0,3

Таблица 1

Сравнение значений количества циклов до усталостного разрушения проводника при взаимодействии с одним роликом

Тип контакта	Без трения	Без трения	С трением	С трением
Компонента напряжений	Эквивалентные напряжения	Максимальные касательные напряжения	Эквивалентные напряжения	Максимальные касательные напряжения
Метод Гудмана	53480	35335	41495	25406
Метод Содерберга	14848	8570,9	10536	5587,8
Метод Герберга	1,2542e5	88626	1,0146e5	67185

Таблица 2

Сравнение значений количества циклов до усталостного разрушения проводника при взаимодействии с двумя роликами

Тип контакта	Без трения	Без трения	С трением	С трением
Компонента напряжений	Эквивалентные напряжения	Максимальные касательные напряжения	Эквивалентные напряжения	Максимальные касательные напряжения
Метод Гудмана	5917,6	4063,1	13736	9490,2
Метод Содерберга	565,24	254,27	2266,8	1309,2
Метод Герберга	17830	12625	39319	28150

Анализ результатов выполненных исследований позволяет сделать следующие выводы.

1) При взаимодействии одного ролика с проводником прослеживается следующая зависимость: при учете трения, количество циклов до усталостного разрушения проводника заметно понижается для любых комбинаций методов коррекции среднего напряжения и компонент напряжений.

2) При взаимодействии двух роликов с проводником количество циклов до усталостного разрушения уменьшается по сравнению со значениями при взаимодействии проводника с одним роликом.

3) В случае воздействия на проводник двух роликов, значения количества циклов до возникновения усталостных трещин для контакта с трением больше, чем для контакта без трения. Это обусловлено тем, что в случае взаимодействия с одним роликом, зоной концентрации напряжений и, как следствие, областью зарождения усталостных трещин является зона контакта ролика с проводником. Соответственно, при повышении коэффициента трения, концентрация напряжений в зоне контакта возрастает. В то же время, область зарождения усталостного износа в случае воздействия со стороны двух роликов находится вне зоны контакта. Таким образом, при повышении коэффициента трения, в случае контакта проводника с двумя роликами, величины деформаций и, как следствие, напряжений в зоне их максимальной концентрации падают.

Выводы

В статье представлены результаты моделирования многоциклового контактного износа элементов системы «направляющий ролик-шахтный проводник». Произведена верификация модифицированного аналитического алгоритма моделирования усталостного износа результатами экспериментальных исследований.

Разработана конечно-элементная модель оценки количества циклов до усталостного разрушения проводника при различных вариантах силового взаимодействия со скипом, а также параметров контакта между направляющими роликами и проводником. Сделаны выводы о влиянии трения и выбора метода корректировки средних напряжений на количество циклов до износа.

Полученные результаты расширяют понимание процессов, протекающих в проводниках при различных условиях эксплуатации подъемных сосудов и позволяют делать определенные выводы о сроке эксплуатации отдельных конструктивных элементов шахтного подъемного комплекса.

Работа выполнена при поддержке Белорусского и Российского фондов фундаментальных исследований (гранты №Т20Р-058 и №20-58-00019).

Литература

1. Махутов Н.А. Конструкционная прочность, ресурс и техногенная безопасность. Часть 1. Критерии прочности и ресурса. Новосибирск. Наука. – 494 с.
2. Сосновский Л.А., Махутов Н.А. Трибофатика: Износоусталостные повреждения в проблемах ресурса и безопасности машин. –М.; Гомель: НПО «Трибофатика». - 2000. – 304.
3. Журавков, М.А. Моделирование контактного взаимодействия между элементами подъемного шахтного комплекса при оценках безопасности /М.А. Журавков, А.В. Богданович Л.А. Шемет М.А. Николайчик И.Н. Дембовский Н.А. Махутов, М.М. Гаденин, Д.О. Резников, О.Н. Юдина // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. - 2021, №4, с. 9-25.
4. V.I. Samusia, I.S. Iliina, S.S. Iliina. Computer modeling and investigation of dynamics of system «vessel–reinforcement» in shafts with broken geometry // Bulletin of PNRPU. Geology. Oil & Gas Engineering & Mining. - 2016. Vol.15, no.20. P.277–285.
5. Журавков М.А. Контактная задача о взаимодействии направляющего ролика с шахтным проводником / М.А. Журавков, М.А. Николайчик, П.С. Маевский // Механика машин, механизмов и материалов. - 2021, № 3, с. 83-89.
6. Журавков М.А. Определение силового взаимодействия скипа с направляющими по данным профилировки проводников / М.А.Журавков, С.С. Хвесеня, М.А. Николайчик // Актуальные вопросы машиноведения: Сб. науч. тр. / Объедин. Ин-т машиностроения НАН Беларуси; рекол.: С.Н. Поддубко [и др.] – Минск. - 2020. – Вып. 9. – С. 38-42.
7. Nikolaitchik M.A. Determination of the skip force effect on guides in mine shaft. E3S Web of Conferences. Vol. 201. - 2020. p.1007.
8. Сосновский Л.А. Формирование остаточных волнообразных поверхностных повреждений при контактно-механической усталости / Л.А. Сосновский, С.С. Щербаков // Вестник БелГУТа : Наука и транспорт. – 2005. – № 2. – С. 71–87.
9. Еловой О.М. Оценка характеристик износоусталостного повреждения в локальных зонах испытуемой модели силовой системы / О.М. Еловой // Машиностроение: респ. межвед. сб. науч. тр. – Вып. 23. – Минск : БНТУ. – 2007. – С. 270–275.
10. I. Argatov. A simple model for the wear accumulation in partial slip Hertzian contact // International Journal of Applied Mechanics. - 2020.

11. J. Jäger. Half-planes without coupling under contact loading // Archive of Applied Mechanics. - 1997. Vol. 67 (4), P. 247-259.

12. M. Ciavarella, G. Demilio. A review of analytical aspects of fretting fatigue, with extension to damage parameters, and application to dovetail joints // International Journal of Solids and Structures. - 2001. Vol. 38 (10-13), P. 1791-1811

13. Вахромеев А.М. Определение циклической долговечности материалов и конструкций транспортных средств. – Москва: МАДИ. - 2015. – 8 с.

Сведения об авторах

Журавков Михаил Анатольевич – профессор, заведующий кафедрой теоретической и прикладной механики Белорусского государственного университета. Адрес: 220030, г. Минск, пр.-т Независимости, 4, e-mail: zhuravkov@bsu.by.

Богданович Александр Вальдемарович – доцент, профессор кафедры теоретической и прикладной механики Белорусского государственного университета. Адрес: 220030, г. Минск, пр.-т Независимости, 4, e-mail: bogal@tut.by.

Николайчик Михаил Александрович – заведующий НИЛ прикладной механики Белорусского государственного университета. Адрес: 220030, г. Минск, пр.-т Независимости, 4, e-mail: nikolaitchik.m@gmail.com.

Махутов Николай Андреевич – главный научный сотрудник, Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, 101000, Москва, Малый Харитоньевский пер., д. 4, kei51@mail.ru

Гаденин Михаил Матвеевич – ведущий научный сотрудник, Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, 101000, Москва, Малый Харитоньевский пер., д. 4, safety@imash.ru

Резников Дмитрий Олегович – ведущий научный сотрудник, Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, 101000, Москва, Малый Харитоньевский пер., д. 4, mibsts@mail.ru

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ ТРЕТЬЕГО УРОВНЯ КАК СРЕДСТВО ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ЗОН ПЛАНИРОВАНИЯ ЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ АЭС

С.Л. Гаврилов, кандидат физ.-мат. наук **В.Ю. Яковлев**,
кандидат физ.-мат. наук **В.А. Пантелеев**, доктор техн. наук **М.Д. Сегаль**
ФГБУН Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва

Рассмотрены вопросы планирования аварийного реагирования с целью защиты населения, проживающего в зоне размещения объекта использования атомной энергии. Показано, что на сегодняшний день реализуется детерминистский подход к планированию зоны защитных мероприятий, реализованный в нормативных документах различных ведомств. В некоторых случаях такой подход привел к масштабированию социально-экономических последствий имевших место крупных радиационных аварий. Предложен подход к определению зоны планирования защитных мероприятий с использованием методологии вероятностного анализа безопасности третьего уровня (ВАБ-3).

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, радиационная авария, зонирование территории, вероятностный анализ безопасности, противоаварийное планирование, атомная станция, объекты использования атомной энергии, ВАБ-3, вероятностный анализ безопасности.

LEVEL 3 PROBABILISTIC SAFETY ASSESSMENT TO SUPPORT DECISION- MAKING ON NPP BOUNDARIES OF EMERGENCY PLANNING AND PROTECTIVE ACTION ZONES

S.L. Gavrilov, Ph.D. (Phys.-Mat.) V.Yu. Yakovlev,
Ph.D. (Phys.-Mat.) V.A. Panteleev, Dr. (Tech.) M.D. Segal
Nuclear Safety Institute Of The Russian Academy Of Sciences

The article deals with the issues of emergency response planning in order to protect the population in the NPP location. It is shown that today a deterministic approach to planning a zone of protective measures is being implemented, implemented in regulatory documents of various departments. In some cases, this approach has led to the scaling of the socio-economic consequences of major radiation accidents that have taken place. An approach is proposed to determine the zone for planning protective measures using the methodology of Level 3PSA.

Keywords: emergency situation, radiation accident, zoning of the territory, probabilistic safety assessment, emergency planning, nuclear power plant, nuclear power facilities, Level 3 PSA.

Все большее количество стран сегодня приходят к необходимости использования атомной энергии с учетом глобальной тенденции к декарбонизации и удорожания органического топлива. Достигнутый к настоящему времени высокий уровень безопасности и надежности действующих объектов использования атомной энергии (ОИАЭ), в частности

атомных электростанций (АЭС) является главным условием развития и успешного функционирования атомной энергетики. Безопасность ОИАЭ обеспечивается за счет последовательной реализации концепции глубоко эшелонированной защиты (ГЭЗ). Основная цель ГЭЗ — защита персонала, а также населения, проживающего вокруг ОИАЭ.

В соответствии с российской нормативной базой в области использования атомной энергии, а также публикацией МАГАТЭ [1, 2], ГЭЗ состоит из пяти уровней (см. табл.1).

На первом уровне защиты предусмотрено установление санитарно-защитной зоны, зоны наблюдения вокруг АС, а также зоны планирования защитных мероприятий.

Пятый уровень защиты направлен на смягчение радиационных последствий аварий путем заблаговременного планирования и принятия в случае необходимости мер по защите персонала и населения.

В данной статье рассматриваются вопросы определения зон планирования защитных мероприятий по защите населения за пределами АЭС.

Таблица 1

Уровни глубокоэшелонированной защиты [1]

Уровень защиты	Задачи
1	Размещение, зонирование территорий, предотвращение нарушений нормальной эксплуатации
2	Предотвращение проектных аварий системами нормальной эксплуатации
3	Предотвращение запроектных аварий системами безопасности
4	Управление запроектными авариями
5	Противоаварийное планирование на территории ОИАЭ и за его пределами

В [3] отмечена важность заблаговременного планирования мер защиты населения, которое должно предусматривать меры защиты населения не только при наиболее вероятных авариях, но также при маловероятных, которые могут привести к масштабным радиационным последствиям. Таким образом, только заблаговременное планирование и обеспечение необходимыми ресурсами мер, достаточных для защиты персонала и населения, обеспечит решение возложенных на пятый уровень ГЭЗ задач.

Подходы к определению зон защитных мероприятий

Ключевым элементом системы планирования аварийных мероприятий (в контексте защиты населения при аварии) является установление специальных территорий – зон планирования защитных мероприятий [1, 4].

В соответствии с [5] эти зоны (расстояния) должны включать:

- зону предупредительных неотложных защитных мер (ЗПМ) в пределах которой должно быть запланировано проведение мер аварийного реагирования до выброса радионуклидов в атмосферный воздух при чрезвычайной ситуации (ЧС);
- зону планирования срочных защитных мер (ЗПСМ), в пределах которой должно быть запланировано проведение защитных мер: по возможности – до аварийного выброса радионуклидов в атмосферный воздух и безоговорочно – после аварийного выброса на основании данных мониторинга и радиационной разведки;
- расстояние расширенного планирования (РРП), в пределах которого должно быть запланировано выполнение мониторинга (радиационной разведки) с целью выявления загрязненных участков в течение такого времени, чтобы последствия облучения на этих

участках могли быть эффективно снижены посредством проведения защитных мер и других мер аварийного реагирования;

- расстояние для планирования ограничительных мер в отношении продуктов питания и товаров (РППТ), в пределах которого должно быть запланировано проведение мер целью предотвращения загрязнения пищевых продуктов, ограничения потребления загрязненных пищевых продуктов, воды и иной продукции.

Одним из оценочных предварительных подходов к определению указанных зон является определение радиуса окружности в центре которой находится ОИАЭ согласно табл. 2 [4].

Таблица 2

Аварийные зоны и расстояния в рекомендациях МАГАТЭ [4]

Аварийные зоны	Предлагаемый максимальный радиус (км)	
	Мощность реактора более 1000 МВт	Мощность реактора от 100 до 1000 МВт
Зона предупредительных мер (ЗПМ)	от 3 до 5	
Зона планирования срочных защитных мер (ЗПСМ)	от 15 до 30	
Аварийные расстояния	Протяженность	
Расстояние для расширенного планирования (РРП)	до 100	50
Расстояние для планирования мер в отношении продуктов питания и товаров (РППТ)	до 300	100

В документах различных ведомств Российской Федерации рассматриваются две защитные зоны, установленные в СП АС-03 [6]:

- **зона прогнозирования мероприятий по обязательной эвакуации (ЗПМОЭ)**, в границах которой в начальном периоде радиационной аварии может быть достигнут или превышен верхний уровень дозового критерия по обязательной эвакуации критической группы населения, установленный действующими Нормами радиационной безопасности [7].

- **зона планирования защитных мероприятий (ЗПЗМ)**, в границах которой возможно радиационное воздействие при запроектных авариях и планируются мероприятия по защите населения, предусмотренные действующими Нормами радиационной безопасности [7]. За пределами этой зоны для вышеуказанных аварий проведение мероприятий по защите населения не требуется.

Критерии для определения размеров защитных зон в случае радиационной аварии на ОИАЭ приведены в табл. 3 и 4 [8].

Приведенные выше методы определения зон противоаварийного планирования носят детерминистский характер и регламентируют либо расстояния, либо нормативные значения доз на внешних границах зон планирования при рассмотрении ограниченного числа реперных аварий и нормативно определенных условий распространения выбросов в атмосфере.

Как следует из таблицы [2] по рекомендациям МАГАТЭ зона планирования срочных защитных мер (ЗПСМ) достигает 30 км, а зона расширенного планирования — 100 км.

Такой подход применим для территорий с низкой плотностью населения и достаточно равномерным ее распределением. Для густонаселенных территорий вокруг ОИАЭ с существенной неравномерностью плотности населения более обоснованными являются вероятностные подходы, которые могут количественно обосновать риски связанные с радиационной аварией на ОИАЭ и позволяют установить границы зон противоаварийного

планирования и реагирования таким образом, чтобы обеспечить приемлемый уровень радиологического рисков при уменьшении вероятности избыточного реагирования.

Ошибки, связанные с адекватностью принятия мер по защите населения могут привести к значительным социально-экономическим ущербам с длительным периодом до восстановления нормального функционирования инфраструктуры. Как показала авария на АЭС Фукусима -1 действия властей по защите населения носили избыточный характер, что во многом было обусловлено недостаточной научно-технической поддержкой лиц принимающих решения по ликвидации последствий тяжелых аварий, в том числе аварийного планирования. Эвакуация и отселение населения, особенно в таких масштабах, как при аварии на АЭС Фукусима-1, вызывает стресс у людей, лишая их привычного образа жизни, устоявшихся сообществ, и разрывает социальные связи, которые сложились в этих сообществах. Поэтому можно утверждать, что необоснованные контрмеры введенные для реагирования на чрезвычайную ситуацию, причинили такой же, если не больший, ущерб качеству жизни пострадавших, чем радиоактивные выбросы во время самой аварии [10].

Таблица 3

Критерии для определения границ зон аварийного реагирования, установленные в НРБ-99/2009, НП-032-01 [8]

Зона аварийного реагирования	Критерии	Обозначения	Значение критерия (мГр)
зона прогнозирования мероприятий по обязательной эвакуации	Поглощенная доза во всем теле за 10 суток	$D_{1,Б} (\tau=10 \text{ суток})$	500
	Поглощенная доза в легких за 10 суток	$D_{2,Б} (\tau=10 \text{ суток})$	5000
	Поглощенная доза в коже за 10 суток	$D_{3,Б} (\tau=10 \text{ суток})$	5000
	Поглощенная доза ЩЖ за 10 суток	$D_{4,Б} (\tau=10 \text{ суток})$	5000
Зона планирования защитных мероприятий	Поглощенная доза во всем теле за 10 суток	$D_{1,А} (\tau=10 \text{ суток})$	5
	Поглощенная доза в легких за 10 суток	$D_{2,А} (\tau=10 \text{ суток})$	50
	Поглощенная доза в коже за 10 суток	$D_{3,А} (\tau=10 \text{ суток})$	50
	Поглощенная доза ЩЖ за 10 суток	$D_{4,А} (\tau=10 \text{ суток})$	50

Таблица 4

Критерии для определения границ зон аварийного реагирования, рекомендованные в стандартах МАГАТЭ [9]

Зона аварийного реагирования	Критерий	Обозначение	Значение критерия
Зона предупредительных мер	ОБЭ-взвешенная поглощенная доза в ККМ в результате внешнего острого облучения	$AD_{ККМ}^* (\tau=10 \text{ ч})$	1000 мГр
	ОБЭ-взвешенная поглощенная доза в ЩЖ в результате острого поступления	$AD_{ЩЖ}^* (\tau=30 \text{ суток})$	2000 мГр
Зона планирования срочных защитных мер	Эквивалентная доза в ЩЖ за первые 7 суток после аварии	$H_{ЩЖ}^* (\tau=7 \text{ суток})$	50 мЗв
	Эффективная доза за первые 7 суток после аварии	$E^* (\tau=7 \text{ суток})$	100 мЗв

С другой стороны недооценка размеров зон планирования может привести к необходимости проведения защитных мероприятий на территориях без предварительно разработанных планов с соответствующим снижением их эффективности и увеличением радиологических и социально-экономических последствий. Такая ситуация сложилась во время аварии на АЭС Фукусима в марте 2011 г., когда зона планирования защитных мероприятий составляла 10 км, в то время как при аварии зона эвакуации составила 20 км, зона укрытия населения в домах и добровольной эвакуации – от 20 до 30 км. Зона плановой эвакуации в течение месяца (от 22 апреля 2011 г.) в районе северо-западного следа составила до 55 км [11].

Опыт развития тяжелых аварий на ОИАЭ показывает, что аварии начинаются в неизвестный момент времени и развиваются при существенной неопределенности прогнозов времени, мощности выбросов и условий распространения РВ в окружающей среде на момент выброса. Это создает предпосылки для использования вероятностных подходов при определении зон защитных мероприятий и аварийного планирования.

Проводимые исследования в области развития методологии вероятностного анализа безопасности третьего уровня (ВАБ-3) показали, что использование ВАБ-3 может позволить выйти на качественно новый уровень решения проблем аварийного реагирования. Вероятностные оценки масштабов и эффективности контрмер при тяжелых запроектных авариях на ОИАЭ на основе функций распределения случайных величин индивидуальных и коллективных доз, а так же уровней загрязнения территорий позволяют обеспечить, дополнительно к детерминистским подходам, научно-техническую поддержку при планировании адекватных защитных мероприятий по снижению радиологических последствий при избегании масштабирования социально-экономических последствий [12 - 16].

Методология ВАБ-3 позволяет оценить функции распределения случайных величин, характеризующие радиационные аварии, таких как:

- индивидуальные дозы облучения на территории;
- радиоактивные выпадения на территории;
- коллективные дозы облучения;
- число людей с дозами превышающими определенный уровень;
- размеры территорий с загрязнением превышающим определенный уровень.

Функции распределения указанных случайных величин являются основой для оценки количественных характеристик индивидуального, территориального, социального и коллективного рисков в натуральных и финансово-экономических показателях с учетом специфики радиационных аварий. Это дает возможность обеспечить научно-техническую поддержку лиц, принимающих решения при разработке планов реагирования на аварии, подготовке материально-технического обеспечения и готовности соответствующих сил и средств.

Для задачи обоснования зон планирования защитных мероприятий методология ВАБ-3 позволяет, дополнить детерминистские подходы на основе нормативных значений доз при рассмотрении ограниченного числа реперных аварий и нормативно определенных условий распространения выбросов вероятностными критериями радиологических последствий, такими как:

- вероятность превышения нормативных доз в отдельных населенных пунктах;
- распределение вероятности превышения нормативных доз на территории в районе расположения АЭС.

Приведем модельный пример использования методологии ВАБ-3 для задачи обоснования зон планирования защитных мероприятий. При проведении расчётов были сделаны следующие допущения:

- нуклидный состав выброса радиоактивных веществ в атмосферу соответствует оценкам выброса на АЭС Фукусима-1 (Япония) в 2011 г., образовавшему северо-западный след [17];

- вероятность выброса – 1,0;
- расположение населенных пунктов в расчетной области соответствует району АЭС Фукусима-1;
- метеорологические условия статистически соответствуют условиям восточного побережья Японии в префектуре Фукусима (по данным метеостанции WMO 47598, Onahama за 8 лет);
- техногенный фактор защиты зданий и сооружений принимался в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ [18].

Модельные расчеты проведены с использованием методических подходов и расчетного кода, разработанных в ИБРАЭ РАН¹.

Были получены функции распределения прогнозируемых эффективных доз за 10 суток для всех населенных пунктов на расстоянии до 50 км от АЭС Фукусима-1 и в точках расчетной области 100х100 км вблизи АЭС Фукусима-1.

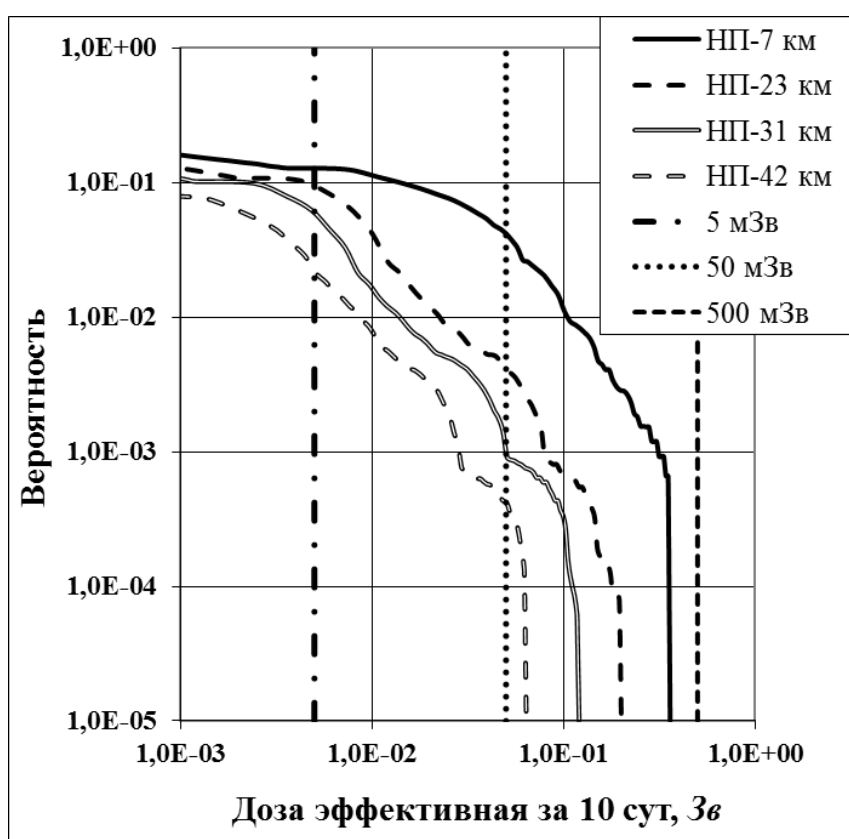


Рис. 1. Пример дополнительных функций распределения случайной величины прогнозируемой эффективной дозы за 10 суток в населённых пунктах без контрмер

На рис. 1 приведены примеры дополнительных функций распределения² прогнозируемой эффективной дозы за 10 суток в 4-х населенных пунктах расположенных на различных расстояниях от АЭС (7, 23, 31 и 42 км) и нормативные дозы этой величины для принятия решений о контрмерах (5, 50 и 500 мЗв). Функции распределения позволяют для

1 — Расчетный код разработан в рамках плана НИР ИБРАЭ РАН. Стадия разработки – функциональный прототип.

2 — Дополнительная функция распределения случайной величины определяется как $1 - F(x)$, где $F(x)$ – функция распределения случайной величины

каждого населенного пункта определить вероятность превышения нормативных дозовых уровней необходимости (уровень А) или рассмотрения целесообразности (уровень Б) проведения защитных мероприятий различного типа по принципам обоснования и оптимизации с учетом конкретной обстановки и местных условий³ [7].

На рис. 2 приведены изолинии вероятности превышения прогнозируемой эффективной дозы 50 мЗв за 10 суток. Доза в 50 мЗв соответствует необходимости (уровень А) проведения укрытия населения или рассмотрения целесообразности (уровень Б) эвакуации согласно НРБ-99/2009 [7]. При заданном уровне вероятности превышения нормативной дозы можно определить границы зоны планирования защитных мероприятий. Например, при вероятности превышения нормативной дозы в 50 мЗв равной 0,001 получим область планирования срочных защитных мер (ЗПСМ) (на рис. 2 данная область заштрихована).

Приведенный пример иллюстрирует подход к использованию методологии ВАБ-3 в задачах научно-технической поддержки принятия решений при определении зоны планирования защитных мероприятий с учетом вероятностной природы последствий аварий на ОИАЭ.

Вероятностный подход в сочетании с детерминистскими требованиями нормативных документов позволит лицам, принимающим решения, более обоснованно подходить к планированию защитных мер с тяжелыми социально-экономическими последствиями как эвакуация или отселение, обеспечивая при этом необходимый уровень радиологических рисков при крупных авариях на АЭС.

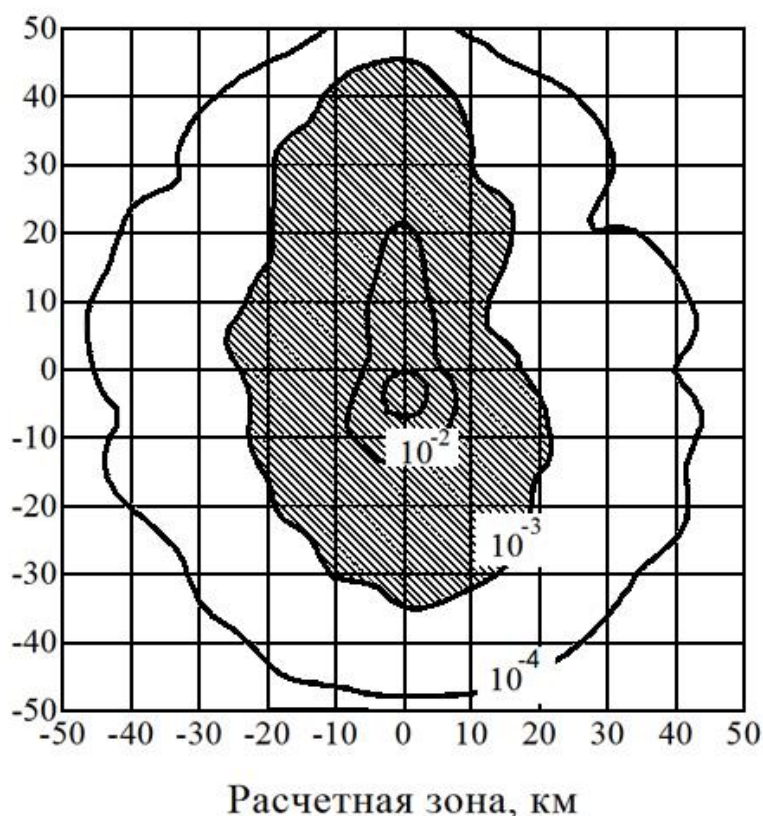


Рис. 2. Изолинии вероятности превышения эффективной дозы 50 мЗв за 10 суток.
Зона превышения 50 мЗв с вероятностью более 0,001

3 — В НРБ-99/2009 уровни вмешательства рассматриваются с точки зрения предотвращенной защитными мероприятиями эффективной дозой. Но для задач заблаговременного планирования прогнозируемая доза может быть рассмотрена, как верхняя оценка предотвращаемой дозы при проведении защитных мероприятий.

Литература

1. НП-001-15 - Общие положение
2. Defence in Depth in Nuclear Safety. INSAG-10. A report by the international nuclear safety advisory group. – IAEA, Vienna. - 1996.
3. Implementation of Defence in Depth at Nuclear Power Plants Lessons Learnt from the Fukushima Daiichi Accident. – NEA. - 2016.
4. Международное агентство по атомной энергии. Меры по защите населения в случае тяжелой аварии на легководном реакторе. EPR-NPP Действия по защите населения, МАГАТЭ, Вена. - 2013.
5. Международное агентство по атомной энергии. Готовность и реагирование в случае ядерной или радиационной ситуации. Серия норм МАГАТЭ по безопасности, № GSR Part 7, МАГАТЭ, Вена. - 2015.
6. НП-032-01. Размещение атомных станций. Основные критерии и требования по обеспечению безопасности. СанПин 2.6.1.24-03. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций (СП АС-03).
7. НРБ-99/2009. Нормы радиационной безопасности.
8. МТ 1.2.5.05.0110-2012. Методика определения размеров зон планирования защитных мероприятий в случае аварии на атомной станции.
9. GSG-2. Критерии для использования при обеспечении готовности и реагирования в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации. – 2011.
10. «Авария на АЭС «Фукусима-1»: опыт реагирования и уроки». Труды ИБРАЭ РАН. Под. ред. чл.-корр. РАН Л.А. Большова/ Москва, «Наука». – 2013 г. 148 с.
11. The Fukushima Daiichi Accident. Report by the Director General. IAEA, Vienna. - 2015.
12. Пантелеев В.А., Сегаль М.Д., Пименов А.Е. Радиационный риск и вероятностный анализ безопасности третьего уровня объектов использования атомной энергии. — Радиация и риск. - 2021, Том 30, № 4, с. 117—129. DOI: 10.21870/0131-3878-2021-30-4-117-130.
13. Пантелеев В.А., Сегаль М.Д., Пименов А.Е. Вероятностный анализ безопасности третьего уровня как средство поддержки принятия решений о размещении АЭС. — Атомная энергия. - 2021, т. 130, вып. 4, с. 188-192.
14. Use and Development of Probabilistic Safety Assessment. – NEA/CSNI. – 2020. – 381 с.
15. Пантелеев В.А., Сегаль М.Д. Состояние и роль пятого уровня глубокошелонированной системы защиты АЭС. — Атомная энергия. - 2019, т. 126, вып. 5, с. 290-295.
16. Пантелеев В.А., Сегаль М.Д., Симонов А.В. Противоаварийное планирование и реагирование – пятый уровень глубокошелонированной системы защиты АЭС и роль вероятностного анализа безопасности третьего уровня (ВAB-3). // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. - 2019, № 5, с. 29-37.
17. Арутюнян Р.В., Бакин Р.И., Долганов К.С., Киселев А.А., Ткаченко А.В., Томашик Д.Ю., Цаун С.В. Реконструкция северо-западного радиоактивного следа при аварии на АЭС «Фукусима-1» (Япония) с помощью программных комплексов СОКРАТ/ВЗ и ПРОЛОГ //Атомная энергия. - 2014. Т. 116, вып. 3. С. 173.
18. Меры по защите населения в случае тяжёлой аварийной ситуации на легководном реакторе. EPR-NPP-PPA (2013). МАГАТЭ. 2015. [Электронный ресурс]. URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/EPR-NPP_PPA_R_web.pdf (дата обращения 19.04.2021).

Сведения об авторах

Гаврилов Сергей Львович — зав. отделением ИБРАЭ РАН, 8-(495) 955-22-36, e-mail: gav@ibrae.ac.ru

Яковлев Владислав Юрьевич — старший научный сотрудник ИБРАЭ РАН, 8-(495) 955-22-17, e-mail: vlad_ya@ibrae.ac.ru

Пантелеев Владимир Александрович — старший научный сотрудник ИБРАЭ РАН, 8-(495) 955-22-14, e-mail: bob_rsi@mail.ru

Сегаль Михаил Давыдович — ведущий научный сотрудник ИБРАЭ РАН, 8-(495) 955-22-14, e-mail: nag@ibrae.ac.ru

НОВЕЙШАЯ ОТЕЧЕСТВЕННАЯ СИСТЕМА ПОЖАРОТУШЕНИЯ СП-32 ДЛЯ МОДЕРНИЗИРОВАННЫХ ВЕРТОЛЕТОВ МАРКИ КА-32

Доктор техн. наук О.В. Викулов

**Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Научно-исследовательский институт - Республиканский исследовательский
научно-консультационный центр экспертизы»**

Доктор техн. наук С.А. Качанов

РФ – Российско-сербский гуманитарный центр

Ю.В. Капральный

**Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Всероссийский научно – исследовательский институт по проблемам
гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России»
(федеральный центр науки и высоких технологий)**

Рассмотрены преимущества отечественной противопожарной системы модернизированного вертолета Ка-32А11М, являющегося на сегодняшний день мировым лидером в борьбе с огнем в высотных зданиях и в тушении различных видов лесных пожаров. Проанализированы цели и задачи модернизации вертолета, а также его возможности по обеспечению эффективного пожаротушения. Выполнен сравнительный анализ (относительно зарубежных аналогов) технических характеристик как самого вертолета, так и его противопожарной системы и подтверждены его преимущества, а также дана экспертная оценка экспортного потенциала такого вертолета и уровня импортозамещения его оборудования.

Ключевые слова: водосливное устройство; водяная пушка; импортозамещение; противопожарный вертолет; система пожаротушения; тушение пожаров.

THE LATEST DOMESTIC FIRE EXTINGUISHING SYSTEM SP-32 FOR UPGRADED KA-32 HELICOPTERS

Dr. (Tech.) O.V. Vikulov

**Deputy Director of the Scientific Research Institute - Federal Research Centre
for Projects Evaluation and Consulting Services**

Dr. (Tech.) S.A. Kachanov

Deputy Director of the Russian-Serbian Humanitarian Center

Yu.V. Kapralniy

**Researcher of the Federal State Budgetary Institution "
All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergency Situations
of the Ministry of Emergency Situations of Russia" (Federal Center for Science
and High Technologies), Moscow Institute of Physics and Technology
(National Research center)**

The article discusses the advantages of the domestic fire-fighting system of the modernized Ka-32A11BC helicopter, which is today the world leader in fighting fire in high-rise buildings and in extinguishing various types of forest fires. The goals and objectives of helicopter modernization, as well as its ability to ensure effective fire fighting, are analyzed. A comparative analysis (relative to foreign counterparts) of the technical characteristics of both the helicopter itself and its fire-fighting system was carried out and its advantages were confirmed, as well as an expert assessment of the export potential of such a helicopter and the level of import substitution of its equipment was given.

Keywords: fire extinguishing, fire extinguishing system, firefighting helicopter, import substitution, spillway device, water cannon.

Выполнен анализ актуальных направлений и особенностей модернизации многоцелевого вертолета Ка-32А11ВС, являющегося признанным лидером в своем классе авиационной техники. Кроме своих основных противопожарных функций по предназначению, данная вертолетная система способна выполнять поисково-спасательные и высотно-монтажные работы, транспортировать грузы, как внутри фюзеляжа, так и на внешней подвеске, а также патрулировать и поддерживать специальные операции в любое время суток в простых и сложных метеоусловиях.

Агрессивное поведение западных стран во главе с США в последнее время и введение ими санкций в различных областях экономики и международных отношений, ведущих к разрушению международного сотрудничества на первый план для нашей страны ставят задачи всестороннего импортозамещения.

Поэтому, современной тенденцией развития промышленности, в целом и авиационной отрасли является импортозамещение. Следуя этой тенденции, основной целью модернизации рассматриваемого вертолета, помимо оснащения его современным бортовым радиоэлектронным оборудованием (далее - БРЭО), является импортозамещение таких базовых элементов его конструкции, как силовая установка, а также система пожаротушения. Вертолет Ка-32А11М планируется оснастить новым БРЭО марки КБО-32, а также установить на нем значительно более мощные двигатели российской разработки КА-2500ПС-02 и улучшенную систему пожаротушения СП-32. Модернизация же вертолета Ка-32А11ВС осуществляется холдингом «Вертолеты России», входящем в Госкорпорацию «Ростех», на производственной площадке АО «Кумертауское авиационное производственное предприятие» при непосредственном участии АО «Вертолетная сервисная компания» [1].

Выполненный анализ возможностей различных вертолетных систем позволяет сделать вывод о том, что вертолеты соосной схемы Ка-32 являются лидерами в области тушений пожаров в различных географических местностях и в самых разных условиях обстановки.

В чем же преимущества такой схемы?

А, преимуществом соосной схемы заключается в том, что она позволяет вертолету избавиться от рулевого винта, что дает возможность значительно уменьшить длину вертолета, тем самым, сделать его более компактным, имеющим при этом высокую энерговооруженность и маневренность в сочетании с отличной управляемостью. Именно такие характеристики вертолета очень важны при тушении пожаров в городской местности с высокой плотностью застройки и в горной местности с неоднородным рельефом (рис. 1). Система пожаротушения, установленная на вертолёты марки Ка-32 может использоваться при тушении пожаров в высотных зданиях и сооружениях, на и железнодорожных магистралях, а также при тушении лесных пожаров в горах.

Противопожарный вертолет Ка-32А11ВС может задействовать более 40 возможностей противопожарного оборудования. Среди этого имеются такие противопожарные системы

как «Simplex» и ковшей типа «Bambi-Bucket», а также водометы для горизонтального тушения пожаров. Эксперты признали данный вертолет одним из лучших в своем классе. Он удовлетворяет требованиям международных FAR-29 (Federal Aviation Regulations) и отечественных авиационных правил АП-29 (часть 29), а также имеет сертификат Европейского агентства по безопасности полетов (EASA). Вертолеты марки Ка-32 успешно эксплуатируются более чем в 30 странах, среди которых Австрия, Азербайджан, Бразилия, Греция, Индонезия, Испания, Канада, Казахстан, Китай, Малайзия, Португалия, Швейцария, Южная Корея и Япония [2].



Рис. 1. Противопожарный вертолет Ка-32А11ВС

Параметры подлежащего к обновлению вертолета Ка-32А11ВС хорошо известны во всем мире. Как было сказано ранее, вертолет базируется на соосной схеме, тем самым, не нуждаясь в рулевом винте, а это в свое время дает вертолёту возможность стать меньше в габаритах (длина). У Ка-32А11ВС помимо всего прочего, ещё довольно высокая грузоподъемность – до 5 тонн груза на внешней подвеске. Низкую стоимость полета обеспечивает высокий назначенный ресурс – до 32 тыс. час.

Он оснащен двумя двигателями ТВ3-117ВМА мощностью по 2200 л.с., что позволяет набрать крейсерскую скорость до 260 км/ч, а скороподъемность до 15 м/с, при практическом потолке в 5000 м. Максимальная дальность составляет 650 км, но при использовании дополнительных топливных баков данный параметр возрастает до 870 км. Со стандартным баком время полёта достигает до 4 ч. Вместимость составляет – от одного до трех человек летного экипажа и до 13 пассажиров [3].

Вертолет, оснащенный системой дозированного и горизонтального пожаротушения «Simplex» с водяной пушкой в купе с летными характеристиками способен исполнять уникальные операции по ликвидации пожаров как на площадных, так и на особо сложных техногенных, природных, горных и городских высотных комплексах.

Среди вертолетов российского производства Ка-32А11ВС пользуется стабильным спросом на международном рынке авиации, при этом довольно хорошо конкурируя с вертолетами американских производителей «Bell Helicopter» и «Sikorsky». Ка-32А11ВС не раз показывал свою эффективность при работах в условиях Антарктиды, а также выполнение высокоточных монтажных работ. Китай постоянно использует этот вертолёт для разных монтажных работ, перевозки грузов и пожаротушения. Данный вертолёт получил сертификат в Канаде и Европе (EASA), из-за чего их парк за менее 15 лет был обновлён на 40%. В России для Ка-32 от общего налёта: 30 процентов составляют перевозки грузов и пассажиров, а пожаротушение – 44 процента и поисково-спасательные операции – 5 процентов.

Forecast International прогнозирует, что за период с 2016 по 2025 год во всём мире будет произведено 4790 вертолетов общей стоимостью \$115,7 млрд. Компания АО «Вертолеты России» произведет 1767 вертолетов, что составляет от общего числа 36,9% рынка, тем самым будет являться лидером. Американская компания «Sikorsky» за это время сделает 1271 вертолёт, получив 26,5% доли ранка. Другая американская компания «Boeing» займёт последующее место произведя 399 вертолетов и взяв 8,3% доли рынка [4].

Любая производственная организация как в мире, так и в нашей стране заинтересованы в продвижении своей продукции на различных рынках. Анализ перспектив возможной реализации модернизированной вертолетной техники позволяет сделать вывод о серьезных перспективах.

На базе проведенного экспертного анализа, который описан в Стратегии развития холдинга «Вертолеты России» до 2025 года, определен прогноз продаж вертолетов Ка-32А11ВС и модернизированных Ка-32А11М на период 2020-2030 гг. Согласно этому прогнозу шестнадцать модернизированных вертолетов Ка-32А11М, будут поставлены на внутренний рынок, сорок восемь изделий, из которых 30 Ка-32А11М будут доступны для зарубежья.

Предполагаемым итогом и целью обновления вертолета Ка-32А11ВС будет являться вертолет Ка-32А11М, на котором планируется установить последнюю модификацию двигателя - ВК-2500ПС-02. Именно, такая трансформация конструкции позволит реализовать более надежную эксплуатацию вертолета в регионах и районах не только с умеренным климатом, но и в условиях жаркого климата, а также в районах высокогорья. Обновленный Ка-32А11М, в отличие от своего прототипа Ка-32А11ВС, будет легче, что даёт возможность повысить грузоподъемность (на внешней подвеске) до 5300 кг, а используя цифровые системы встроенного контроля, можно облегчить его техническое обслуживание и снизить стоимость полетов.

К основным летно-техническим характеристикам вертолета следует отнести [5]:

- диаметр несущих винтов - 15,9 м;
- высота вертолётa - 5,45 м, длина - 12,217 м, ширина - 3,805 м;
- угол наклона вала несущих винтов - +4°30' (вперед);
- наименьший взлётный вес - 7 200 кг;
- наибольший взлётный вес - 11 000 кг;
- наибольший полётный вес с грузом на внешней подвеске - 12 700 кг;
- наибольший вес груза в грузовой кабине - 3 700 кг;
- наибольший вес груза на внешней подвеске - 5 300 кг;
- наибольшая скорость - 260 км/ч;
- скорость полета на наибольшую дальность - 200 км/ч;
- скорость полета на наибольшую продолжительность - 120 км/ч;
- практическая дальность - 800 км;
- максимальная скороподъемность -15 м/с;
- практический потолок - 5 000 м;
- статический потолок - 3 500 м.

Сравнивая модернизированный Ка-32А11М с вертолетами иностранного производства аналогичного класса (максимальная взлетная масса 7-16 тонн), следует отметить то, что в целом, он не уступает им в отношении технических характеристик, но, вместе с тем, значительно превосходит по спасательным и пожарным характеристикам зарубежные аналоги. Один из таких аналогов, является вертолет KAI KUH-1 Surion. Этот многоцелевой вертолет был разработан в 2010 году авиастроительными компаниями Korea Aerospace Industries» (Корея) и «Airbus Helicopters» (Франция). KAI KUH-1 Surion имеет следующие летно-технические характеристики [6,7]:

- экипаж - 2 человека;
- вместимость - 18 человек;
- длина вертолѐта - 19 м;
- высота вертолѐта - 4,5 м;
- диаметр несущего винта - 15,8 м;
- масса пустого вертолѐта - 4973 кг;
- максимальный взлѐтный вес - 7348 кг;
- крейсерская скорость - 260 км\ч;
- максимальная скорость полѐта - 310 км\ч;
- максимальная дальность полѐта - 500 км;
- максимальная высота полѐта - 3050 м;
- силовая установка - 2 × Samsung Techwin T700-ST-701K;
- мощность - 2 × 1650 л.с.

Сравнение характеристик указанных вертолетов позволяет заметить, что в итоге вертолет Ка-32А11М в сравнении с корейским KAI KUH-1 Surion при ряде близких характеристик, заметно превосходит его по максимальной взлетной массе, грузоподъемности и дальности полета. Помимо этого, Ка-32А11М имеет почти вдвое меньшую длину, что даёт огромное преимущество при аварийно-спасательных и строительных работах, а также спасательных операциях в городских условиях плотной застройки.

Следующий конкурент нашего вертолета - американский аппарат Ка-32А11М в виде модификации Sikorsky S-64E Skycrane, который выпускается компаниями «Sikorsky Aircraft» и «Erickson Air-Crane» с 1962 года, характеризуется такой явной сильной стороной, как высокая грузоподъемность. Вместе с тем, американский вертолет, имеет и недостаток в виде отсутствия возможностей принять на борт пассажиров, иначе говоря, возможностей по перевозке пассажиров из-за особенности конструкции вертолета. Экипаж у Sikorsky S-64E Skycrane состоит из 5 человек – 3 пилота и 2 инженера, которые контролируют процесс транспортировки груза.

К его основным летно-техническим характеристикам можно отнести [8]:

- экипаж - 5 человек;
- вместимость - отсутствует;
- длина вертолѐта - 21,41 м;
- высота вертолѐта - 5,67 м;
- диаметр несущего винта - 21,96 м;
- масса пустого вертолѐта - 8724 кг;
- максимальный взлѐтный вес - 19050 кг;
- крейсерская скорость - 170 км\ч;
- максимальная скорость полѐта - 203 км\ч;
- максимальная дальность полѐта - 370 км;
- максимальная высота полѐта - 2800 м;
- силовая установка - 2 × Pratt & Whitney JFTD12-4;
- мощность - 2 × 4500 л.с.



Рис. 2. Вертолет EC225 Super Puma

Исходя из характеристик вертолета Sikorsky S-64E Skycrane, он уступает вертолету Ка-32А11М по габаритам (S-64E больше Ка-32А11М), имеет меньшую крейсерскую скорость и дальность полета. Также, как было сказано ранее, S-64E имеет явное преимущество в грузоподъемности, но он не способен взять на борт пассажиров, в отличие от Ка-32А11М, который может принять на борт до 16 человек. Благодаря этому Ка-32А11М становится вне конкуренции в задачах спасения и пожаротушения.

Прямым конкурентом Ка-32А11М является европейский многоцелевой вертолет Eurocopter EC225 Super Puma (рис. 2) от франко-немецкой компании, который используется конкретно для выполнения задач пожаротушения, спасания и поиска. В июне 1998 фирма Eurocopter заявила о начале работы над многоцелевым вертолетом EC225 для гражданской авиации, у которого экипаж состоит из 2 человек и возможность перевозить до 25 пассажиров, обладая следующими летно-техническими характеристиками [9]:

- дальность полета - 860 км;
- крейсерская скорость - 273 км/час;
- наибольшая высота полета - 5 390 м;
- наибольший взлетный вес - 11 000 кг;
- высота салона - 1,45 м;
- длина салона - 7,87 м;
- наибольшее количество пассажиров - 8-25;
- ширина салона - 1,80 м; высота - 4,60 м; длина - 16,79 м.

При близких характеристиках Ка-32А11М будет иметь преимущество в меньшей длине, уступая EC225 Super Puma в грузоподъемности и числе перевозимых пассажиров. Однако при этом каталожная стоимость EC225 (28 миллионов долларов на июнь 2020 г.) превышает стоимость базового варианта Ка-32А11М (12 миллионов долларов) более чем в 2 раза.

Таблица 1

Сравнение характеристик вертолета КА-32А1 с аналогами

Технические характеристики	Ка-32А1	KAI KUH-1 Surion	Sikorsky S-64 Skycrane	EC225 Super Puma
Экипаж (человек)	3-4	2	2	2
Вместимость (человек)	16	18	0	24
Длина вертолёта, м	12,25	19,0	21,46	16,8
Высота вертолёта, м	5,40	4,5 м.	5,67	4,6
Диаметр несущего винта, м	15,90	15,80	21,95	16,2
Масса пустого вертолёта, кг	6000	4817	7820	5256
Максимальная взлетная масса, кг	12700	8709	19051	11000
Крейсерская скорость, км/ч	260	260	169	275
Максимальная дальность полёта, км	800	500	370	839
Полезная нагрузка, кг:				
внутри кабины	3700	3753	10160	5744
на внешней подвеске	5000			
вес топлива	1960			

В итоге, улучшенный вертолёт Ка-32А11М, который впитал в себя самые современные технические решения, получил от этого конкурентные преимущества перед другими аналогичными вертолетами российских и зарубежных компаний (табл. 1) за счет:

- расширенных функциональных возможностей вертолета, включая повышенную безопасность полетов в простых и сложных метеоусловиях, повышенную надежность вертолета и облегченное пилотирование,
- снижения стоимости летного часа за счет максимально возможного упрощения технического обслуживания вертолета с цифровыми системами, имеющими встроенный контроль
- увеличения грузоподъемности вертолета за счет уменьшения его веса благодаря замене старых аналоговых систем на новые цифровые системы с меньшим весом и габаритами.

При модернизации Ка-32А11ВС получится решить ещё одну задачу – импортозамещение двигателей и системы пожаротушения. Поскольку тот же прототип вертолета Ка-32А11М - вертолет Ка-32А11ВС использовал двигатель ТВ3-117ВМА, который ещё совсем недавно был одним из лучших в мире по параметрам надежности и экономичности. У данного двигателя был довольно высокий коэффициент полезного действия за счет составляющих его агрегатов (компрессора - 86 процентов, турбины компрессора - 91 процент, свободной турбины - 94 процента).

Двигатель был разработан в 1965-1972 годах ОКБ имени В. Я. Климова (г. Ленинград), а в 1972 году пошел в серийный выпуск на ЗПОМ «Моторостроитель» (в настоящий момент ПАО «Мотор Сич»), г. Запорожье, Украина. Надежность двигателя была доказана при успешной эксплуатации в морских, арктический и тропических климатах. На сегодняшний день в связи с негативной политической обстановкой в отношениях с Украиной, возникла очень острая потребность в импортозамещении данного двигателя и освоение такого типа в России.

В этой связи на смену легендарного семейства двигателей ТВ3-117 пришел турбовальный двигатель нового поколения ВК-2500, создание которого началось в ОКБ имени В. Я. Климова еще в 2001 году. Его серийное производство было освоено в 2014 году.

В настоящее время двигатель ВК-2500 уже сертифицирован в Китае, а в будущем планируется получение сертификатов в Индии, Бразилии и ряде других стран, что значительно повысит экспортные возможности новых вертолётов, в том числе и разрабатываемого в проектом плане Ка-32А11М. Характеристики ВК-2500 позволяют увеличить потолок вертолета до 30 процентов, а скорость подъема – на 50 процентов. Что касается грузоподъемности, то данный параметр возрастает на одну-две тонны (что определяется и завит от модели вертолета) и помимо этого, улучшаются такие характеристики как скорость и маневренность.

Следует заметить, что на модернизированном вертолете Ка-32А11М будет установлена самая современная модификация данного двигателя, а именно, ВК-2500ПС-02, основным отличием которой является применение современной электронной системы автоматического управления типа FADEC (электронно-цифровая система управления двигателем с полной ответственностью) и противопожарной защитой.

При обновлении, система пожаротушения Ка-32А11ВС также попадет под импортозамещение. Ранее базу составляли системы иностранного происхождения типа «Simplex» и «Bambi-Bucket». Известное на весь мир водосливное устройство (ВСУ) «Bambi Bucket» (Бэмби Бакет), которое было разработано канадской компанией SEI Industries Ltd, выглядит как полужесткая корзина, оснащенная сверхпрочной тканью, которая способна выдерживать удары острых предметов (рис. 3). За всё время были изготовлены различные варианты по емкости, начиная от 275 и до 9840 л, при этом имея вес от 30 и до 241 кг соответственно. Использовать эту систему может любой вертолёт, у которого имеется внешняя подвеска. Самая же система включает в себя - емкость для пены с коммуникациями; заливную горловину с крышкой; сливной клапан; быстроразъемное соединение и блок управления с соединительными кабелями. Резервуар для пены находится непосредственно в корзине, а управление происходит из кабины. Пена позволяет многократно увеличить эффективность использования воды, так как с ее помощи, можно достичь увеличения этой же эффективности на 600-1500%. (10000 литров с пеной превращаются в 110000 литров).



Рис. 3. Вертолетное водосливное устройство «Bambi Bucket»



Рис. 4. Система пожаротушения «Simplex»

Система пожаротушения «Simplex» от американской компания Simplex, обеспечивает забор, транспортировку и последующий сброс воды на очаг пожара (рис. 4). Предусмотрены два варианта установки: с системой пенообразования и без неё. Сборка и разборка данной системы в процессе использования выполняется в течение 30 минут. Устанавливаемая система «Simplex» (Model 328) позволяет заполнять бак водой без приземления [10].

Время полной заправки не превышает 70 сек. Транспортировка воды осуществляется в подфюзеляжном баке емкостью 2952 л. Дополнительно предусмотрено оснащение системой впрыскивания пенообразующего вещества. К основным техническим характеристикам относятся:

- вес системы в незаполненном состоянии 589 кг;
- объём водного бака 2952 л;
- скорость заполнения водного бака 3785 л/мин;
- время полного заполнения водного бака 65-70 сек
- объём пены в баке - 151 л.

Модернизированный же вертолет Ка-32А11М будет оборудован отечественной системой СП-32 вертикального и горизонтального пожаротушения (рис. 5). Отечественная система пожаротушения будет отличаться от иностранных аналогов более выгодной ценой, вмещать больше воды (четыре тонны), иметь цифровое управление и улучшенную эргономику при заборе и сливе воды, в том числе, в открытых водоемах. При этом данная система может эксплуатироваться в зимних условиях, что особенно важно для северных стран, таких как Россия [10].



Рис. 5. Система пожаротушения СП-32



Рис. 6. Система пожаротушения СП-32 с водяной пушкой

Огнегасящая жидкость (вода) в СП-32 забирается без приземления из открытых естественных или искусственных водоемов, и используется для тушения очагов возгорания в городских условиях, в том числе для горизонтального тушения пожаров на небоскребах (что нередко происходит на практике) с помощью водяной пушки (рис. 6) [10].

Какими же преимуществами обладает современная и перспективная отечественная система пожаротушения СП-32?

К числу ее преимуществ и достоинств следует, прежде всего, отнести:

- увеличенный объем бака до 4000 литров (у аналогичной системы 2978 литров);
- тушение нескольких очагов возгорания за один цикл заправки вертолета;
- частичный сброс воды (50 процентов или 100 процентов от объема воды в баке);
- диапазон рабочих температур: от минус 20 до плюс 55°C;

Важным эксплуатационным достоинством является также то, что, при всех иных преимуществах, система уборки водяного насоса во время полета позволяет вертолету с СП-32 развивать максимальную скорость полета до 230 км/ч.

Безусловно, при модернизации вертолета КА – 32 необходимо учитывать те задачи, и в каких структурах Российской Федерации должны решать модернизированные вертолеты. Для пожарных формирований МЧС России, конечно, важно само по себе наличие системы пожаротушения и ее характеристики. Эти запросы спасателей в достаточной степени учтены в ходе создания вертолета Ка-32А11М. Естественно, такие вертолеты найдут широкое применение при реализации мероприятий по борьбе с различными пожарами на урбанизированных территориях.

Кроме того, следует заметить, что особое внимание при развитии и совершенствовании авиационной техники, как показывает логика экономического развития, целесообразно обращать преобладающее внимание на запросы рынков – как рынков нашей страны, так и мировых рынков. Их запросы, в том числе, должны лежать в основе развития авиационной промышленности. Но, безусловно, необходимо развивать и инициативные разработки и технологии различных создателей техники и представлять их на рынках. Производители вертолетной продукции, конечно же, следуют всем принципам и направлениям развития авиационной техники. При этом, они стремятся учитывать и все запросы потребителей их продукции, которые в дальнейшем будут использовать созданную технику при решении различных практических задач как в экономической, так и в оборонной областях. При этом следует заметить, что современный уровень развития российской вертолетной техники находится на самом высоком мировом уровне и является высококонкурентоспособным на зарубежном рынке, где за ним надежно закреплено место и авторитет надежного поставщика качественной и недорогой продукции (по сравнению с другими).

Выше отмеченные задачи импортозамещения для вертолетов марки Ка-32 (код ОКПД2: 30.30.31 «Вертолеты») полностью соответствуют Плану мероприятий по импортозамещению в отрасли гражданского авиастроения Российской Федерации, утвержденному Приказом Минпромторга России от 2 августа 2021 г. № 2914, под шифром 18АП2 «Легкий многоцелевой вертолет». В соответствии с указанным планом доля таких вертолетов с отечественными двигателями и оборудованием должна составить к 2024 году не менее 50 процентов. При этом, согласно Стратегии развития холдинга «Вертолеты России» до 2025 года на российский рынок планируется поставить шестнадцать вертолетов Ка-32А11М уже с отечественными моторами и системой пожаротушения, что обеспечит заметный уровень импортозамещения уже в ближайшей и среднесрочной перспективах.

Помимо этого, модернизированный вертолет Ка-32А11М будет иметь значительный экспортный потенциал. Согласно Стратегии развития холдинга «Вертолеты России» в период 2021-2027 гг. на экспорт планируется поставка 37 вертолетов Ка-32А11М. Основными экспортными направлениями для таких вертолетов должны стать Южная Корея (12 вертолетов), Индия (11 вертолетов), Китай (3 вертолета), Швейцария (1 вертолет),

а также Италия, Швеция, Азербайджан, Филиппины и Бангладеш, в которые будут поставлены по 2 вертолета.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что модернизация российских вертолетов на базе импортозамещения базовых конструктивных узлов и совершенствования их возможностей для реализации современных технологий в различных областях открывает новые возможности на отечественном и зарубежном рынках. Все вышесказанное можно в полной мере отнести и к модернизированному вертолету Ка-32А11М, нашедшему достаточно широкий спрос в зарубежных странах.

Литература

1. «Вертолеты России» модернизируют противопожарный Ка-32. ТАСС. [Электрон. ресурс]. [<https://tass.ru/ekonomika/6443172>] (дата обращения: 04.03.2022).
2. Ка-32: винтокрылая пожарная машина. Содружество авиационных экспертов. Обзор Техника/Технологии. [Электрон. ресурс]. [<https://www.aex.ru/docs/3/2021/5/19/3260/>] (дата обращения: 04.03.2022).
3. Вертолеты пожарно-спасательные Ка-32А(1) и Ка-32А11ВС: модификации и характеристики. [Электрон. ресурс]. [<https://fireman.club/statyi-polzovateley/vertoletyi-pozharno-spasatelnyie-ka-32a-1-i-ka-32a11bc/>] (дата обращения: 04.03.2022).
4. Прогнозы и перспективы вертолётной индустрии [Электрон. ресурс]. [<https://aviation21.ru/prognozy-i-perspektivy-vertolyotnoj-industrii/>] (дата обращения: 04.03.2022).
5. Характеристики вертолета КА-32. Технические характеристики. AVIA.PRO. [Электрон. ресурс]. [<https://avia.pro/blog/vertolet-ka-32-foto-harakteristiki>] (дата обращения: 04.03.2022).
6. Сравнение авиатехники. Гражданские вертолеты. AVIA.PRO. [Электрон. ресурс]. [<https://avia.pro/sravnenie/grazdanskie-vertoletu>] (дата обращения: 04.03.2022).
7. Вертолёт KAI KUH-1 Surion. Технические характеристики. AVIA.PRO. [Электрон. ресурс]. [<https://avia.pro/blog/vertolyot-kai-kuh-1-surion-tehnicheskie-harakteristiki-foto>] (дата обращения: 04.03.2022).
8. Вертолёт Sikorsky S-64 Skycrane. Технические характеристики. AVIA.PRO. [Электрон. ресурс]. [<https://avia.pro/blog/vertolyot-sikorsky-s-64-skycrane-tehnicheskie-harakteristiki-foto>] (дата обращения: 04.03.2022).
9. Вертолет EC225 Super Puma. Технические характеристики. AVIA.PRO. [Электрон. ресурс]. [<https://avia.pro/blog/eurocopter-ec225-super-puma-harakteristiki-foto>] (дата обращения: 04.03.2022).
10. Системы пожаротушения. АО «Вертолеты России». [Электрон. ресурс]. [https://helirusia.ru/wp-content/uploads/2021/05/DONCHENKO_HELIRUSSIA-2021-Vertolety-Rossii-Pozharotushenie-.pdf] (дата обращения: 04.03.2022).

Сведения об авторах

Викулов Олег Владимирович – профессор, заместитель директора Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт - Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы». Тел.: +7 (926) 287-21-19; e-mail: vikulov@extech.ru

Качанов Сергей Алексеевич – профессор, Заслуженный деятель науки РФ, заместитель директора Российско-сербского гуманитарного центра. Тел.: +7 (903) 171-62-28; e-mail: skachanov@inbox

Капальный Юрий Викторович – научный сотрудник Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно – исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (федеральный центр науки и высоких технологий). Тел.: +7 (919) 777-12-00; e-mail: kapalniy@mail.ru

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ АВАРИЯХ НА ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ

Доктор техн. наук *В.А. Седнев*

На основе анализа структуры и состава химически опасных объектов, причин возможных аварий, особенностей аварийно химически опасных веществ и их опасностей, прогнозирования возможной обстановки и взглядов на организацию защиты населения при аварии на химически опасном объекте разработаны предложения по обеспечению безопасности и устойчивости функционирования химически опасных объектов, влияющие на безопасность персонала и населения, проживающего вблизи химически опасных объектов.

Теоретическое значение и новизна результатов в целом определяются вкладом в развитие теории и практики обеспечения безопасности персонала и населения при эксплуатации химически опасных объектов, а также организации защиты населения при авариях на этих объектах, и заключается в разработке комплекса организационных и технических предложений и решений и в совершенствовании мероприятий по обеспечению безопасности и устойчивости функционирования химически опасных объектов.

Ключевые слова: химически опасный объект, безопасность, устойчивость функционирования, защита населения.

ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING THE ORGANIZATION PROTECTION OF THE POPULATION IN CASE OF CHEMICAL ACCIDENTS DANGEROUS OBJECTS OF STAVROPOL TERRITORY

Dr. (Tech.) *V.A. Sednev*

Based on the analysis of the structure and composition of chemically hazardous facilities, the causes of possible accidents, the characteristics of emergency chemically hazardous substances and their hazards, forecasting the possible situation and views on the organization of public protection in case of an accident at a chemically hazardous facility, proposals have been developed to ensure the safety and stability of the operation of chemically hazardous facilities, affecting the safety of personnel and the population living near chemically hazardous facilities. dangerous objects.

The theoretical significance and novelty of the results as a whole are determined by the contribution to the development of the theory and practice of ensuring the safety of personnel and the public during the operation of chemically hazardous facilities, as well as the organization of public protection in case of accidents at these facilities, and consists in the development of a set of organizational and technical proposals and solutions and in improving measures to ensure the safety and stability of the operation of chemically hazardous facilities.

Keywords: chemically hazardous object, safety, stability of functioning, protection of the population.

В современном мире в настоящее время открыто более 6 миллионов химических соединений. Развитие химической промышленности и внедрение её технологий в различные отрасли экономики предполагают возможность возникновения чрезвычайной ситуации химического характера. Известны аварии в химической и нефтехимической промышленности - в Севезо (Италия) в 1976 г., в Бхопале (Индия) в 1984 г., в г. Ионава (Литва) в 1989 г., в терминале порта Тяньцзинь (Китай) в 2015 г., которые привели к гибели сотен и заболеванию тысяч человек, загрязнению территорий. В то же время оценка последствий возможных аварий и проведение защитных мероприятий позволяют свести к минимуму возможный ущерб. При этом имеется противоречие между необходимостью обеспечения защиты населения при аварии на химически опасном объекте и отсутствием единых подходов к оценке её последствий в связи с различными аварийными ситуациями, моделями их развития и используемыми аварийно химически опасными веществами (АХОВ), а также к организации защиты населения на этих объектах, что определяет тенденции развития теории и практики организации защиты населения, а также актуальность исследования.

Структура и состав химически опасных объектов, причины аварий

Химически опасный объект [1] – это объект, при аварии или разрушении которого могут произойти массовые поражения людей, животных и растений аварийно химически опасными веществами.

Аварийно химически опасное вещество [2] – опасное химическое вещество, применяемое в промышленности и сельском хозяйстве, при аварийном выбросе (разливе) которого может произойти заражение окружающей среды в поражающих живой организм концентрациях (токсодозах).

Химическая авария сопровождается:

проливом АХОВ, под которым понимается их вытекание при разгерметизации из технологических установок и емкостей;

выбросом опасного химического вещества, под которым понимается его выход при разгерметизации из технологических установок и емкостей.

Аварии на химически опасных объектах можно разделить на связанные с:

- отказом оборудования или отдельных элементов технологических систем при нормальных параметрах технологического процесса;
- отказом отдельных элементов технологических систем при отклонении технологических параметров от допустимых значений;
- ошибками персонала при выполнении производственных операций;
- причинами природного характера.

Для первой группы аварий характерны следующие причины: неправильный выбор конструкционных материалов; отказ устройств для перемещения рабочих сред или систем противоаварийной защиты; разрушение или разгерметизация оборудования, в том числе из-за усталостности материала.

Для второй группы аварий характерны отказы систем автоматического регулирования технологических параметров.

Для третьей группы аварий характерны различные виды ошибок персонала при выполнении различных операций или ошибки проекта.

Для четвертой группы аварий характерно влияние внешней среды на техническое состояние оборудования, например, низких или высоких температур.

На аналогичных объектах, содержащих опасные вещества, возможны аварии, сопровождающиеся выбросом опасного вещества, загазованностью территории, формированием и распространением взрывоопасных и токсичных облаков, взрывами и пожарами.

Среди причин, способствующих возникновению и развитию аварий, можно выделить следующие взаимосвязанные группы причин, характеризующиеся:

свойствами обращающихся в процессе веществ. Например, аммиак способен при возникновении аварии распространяться на большие площади, является существенным фактором, определяющим развитие аварии по варианту с тяжелыми последствиями. Пары аммиака легче воздуха, при мгновенном выбросе большого количества жидкого аммиака, из-за бурного вскипания и резкого понижения температуры, в атмосферу поднимается аммиак в виде капель, образуя аммиачно-воздушную смесь с плотностью большей, чем плотность воздуха. Вещество оказывает токсическое действие на человека при вдыхании его паров.

Типичные аварийные ситуации, связанные с эксплуатацией аммиака в химической промышленности, характеризуются: утечкой опасного вещества из оборудования; диспергированием, испарением вещества и образованием взрывопожароопасной смеси с воздухом или токсичного облака; наличием или появлением в процессе истечения вещества источника первичного инициирования процесса горения или взрыва горючего облака; распространением токсичного облака;

основными (типовыми) процессами, протекающими в оборудовании. Процессы, протекающие в оборудовании, можно разделить на реакционные, тепломассообменные, теплообменные и гидродинамические, а также процессы хранения.

Применительно к реакционным процессам в случае нарушения рабочего режима возможно повышение давления и температуры внутри аппаратов, разрушение и выброс опасного вещества. Присутствие в реакционной аппаратуре горючих газов, например, метана и аммиака, и окислителя (кислорода воздуха) обуславливает возможность взрыва внутри аппаратуры при нарушении соотношения реагентов.

К тепломассообменным процессам химически опасного объекта относятся процессы абсорбции. При нормальной эксплуатации взрывоопасная атмосфера исключена. При потере вакуума в системе абсорбции возникает опасность значительного выделения газов, загораний, взрывов, а также ожогов и отравлений обслуживающего персонала.

Теплообменные процессы используются для отвода тепла экзотермических реакций, нагрева и испарения жидкостей и газов, конденсации паров, поддержания опасных веществ в стабильном состоянии. Нарушение режима теплообмена может привести к повышению температуры и давления в оборудовании.

К гидродинамическим процессам можно отнести процессы перемещения и смешения различных продуктов, процессы слива-налива различных продуктов. Гидродинамические процессы способствуют увеличению скорости коррозионного и эрозийного износа оборудования, что приводит к его разгерметизации, способствует накоплению зарядов статического электричества. Например, насосное оборудование является источником повышенной опасности, так как представляет собой источник давления.

Трубопроводы трубопроводных систем опасных веществ имеют различную протяженность и являются источником повышенной опасности из-за наличия соединений, запорной и регулирующей арматуры, перепада давлений и температур. Половина выбросов происходит из-за разрушения трубопроводов.

Сливо-наливные операции являются источником повышенной опасности, поскольку эти операции связаны с необходимостью периодического подключения к трубопроводам наливных рукавов. Доля ручного вмешательства при выполнении этих операций достаточно велика (переключение, перекрытие арматуры), что повышает вероятность ошибок персонала.

Процессы хранения характеризуются наличием большого количества опасных веществ, одновременно находящихся в резервуарах и емкостях и способных участвовать в создании поражающих факторов аварии.

Операции заполнения и опорожнения емкостного оборудования связаны с опасностью его переполнения и нарушением режима работы насосного оборудования и трубопроводных систем при снижении уровня жидкости в резервуарах (гидравлические удары, работа насосного оборудования всухую);

физическим износом, коррозией, механическими повреждениями оборудования и трубопроводов. Отказы из-за физического износа связаны с эксплуатацией оборудования сверх установленного срока, несвоевременной заменой. Надземные емкости и трубопроводы подвержены атмосферной коррозии при нарушении изоляционных покрытий. Коррозионное разрушение имеет локальный характер, однако при несвоевременной локализации происходит развитие аварии. Механические повреждения конструкций и оборудования могут привести к нарушению герметичности системы при выполнении строительных или ремонтных работ в непосредственной близости от технологических аппаратов или трубопроводов, а также при транспортной аварии;

ошибочными действиями персонала при пуске/останове оборудования, подготовке его к ремонтным работам, ведении технологического процесса, локализации аварийных ситуаций;

прекращением подачи энергоресурсов. Сбои в подаче электроэнергии могут привести к отказам контрольно-измерительной аппаратуры, средств противоаварийной защиты, нарушению технологических режимов;

нерасчетными внешними воздействиями природного и техногенного характера, к которым можно отнести: грозовые разряды, которые могут сопровождаться разгерметизацией оборудования, взрывами и пожарами; смерч, ураган и т.п., приводящие к разрушениям и выбросу опасных веществ; снежные заносы и понижение температуры, что приводит к нарушению режимов работы, разгерметизации оборудования; ливневые дожди, приводящие к размыву фундаментов, разгерметизации оборудования и выбросу опасных веществ; карстовые провалы; диверсия и др.

Аварии по типу возникновения делятся на производственные и транспортные, при которых нарушается герметичность емкостей и трубопроводов. Сценарии аварий различны. При этом под сценарием возможных аварий подразумевается последовательность связанных между собой отдельных событий (истечение, выброс, испарение, рассеяние, воспламенение, горение/взрыв, воздействие на людей и оборудование и т.п.), обуславливаемых инициирующим событием.

Для количественной оценки могут быть рассмотрены следующие наиболее вероятные и опасные по последствиям группы сценариев:

Сценарий С₁: Разрушение или разгерметизация оборудования / трубопроводов → истечение (выброс) опасного вещества (например, цианистый водород, аммиак, метан и др.) → образование и распространение токсичного взрывопожароопасного облака в помещении → интоксикация людей, попавших в зону токсичного облака → воспламенение взрывоопасного облака → взрыв облака → разрушение оборудования, зданий, сооружений, поражение людей ударной волной - развитие аварии, если оборудование содержит опасные вещества;

Сценарий С₂: Частичное или полное разрушение оборудования → поступление в окружающее пространство опасного вещества в жидком и/или газообразном виде → образование пролива опасного вещества на подстилающей поверхности (или в поддоне) → вскипание жидкости + образование паровоздушного токсичного облака → распространение токсичного облака по помещению, открытой площадке и по территории объекта → попадание в его зону персонала → интоксикация людей → развитие аварии в случае, если токсичное облако выйдет за пределы объекта;

Сценарий С₃: Разгерметизация (разрыв) трубопровода → поступление в окружающее пространство опасного вещества в жидком виде → образование пролива опасного вещества на подстилающей поверхности (или в поддоне) → вскипание жидкости + образование

пароаэрозольного токсичного облака → распространение токсичного облака по помещению, открытой площадке или по территории объекта → попадание в его зону персонала → интоксикация людей → последующее развитие аварии в случае, если токсичное облако выйдет за пределы объекта.

В сценариях С₂ и С₃ в случае попадания, например, пароаэрозольного облака аммиака в помещении в зону источника зажигания → зажигание облака → горение или взрыв облака → попадание в зону поражения людей и оборудования, развитие аварии, если оборудование содержит опасные вещества;

Сценарий С₄: Полное (частичное) разрушение оборудования или разгерметизация оборудования/трубопроводов, содержащих жидкие токсичные вещества → поступление жидких токсичных веществ наружу → образование пролива жидких токсичных веществ → попадание под струю жидких токсичных веществ и/или в зону пролива производственного персонала → токсическое (химическое) поражение людей.

Схема развития аварийной ситуации, связанной с оборудованием и трубопроводами, где обращаются опасные вещества, приведена на рис. 1.

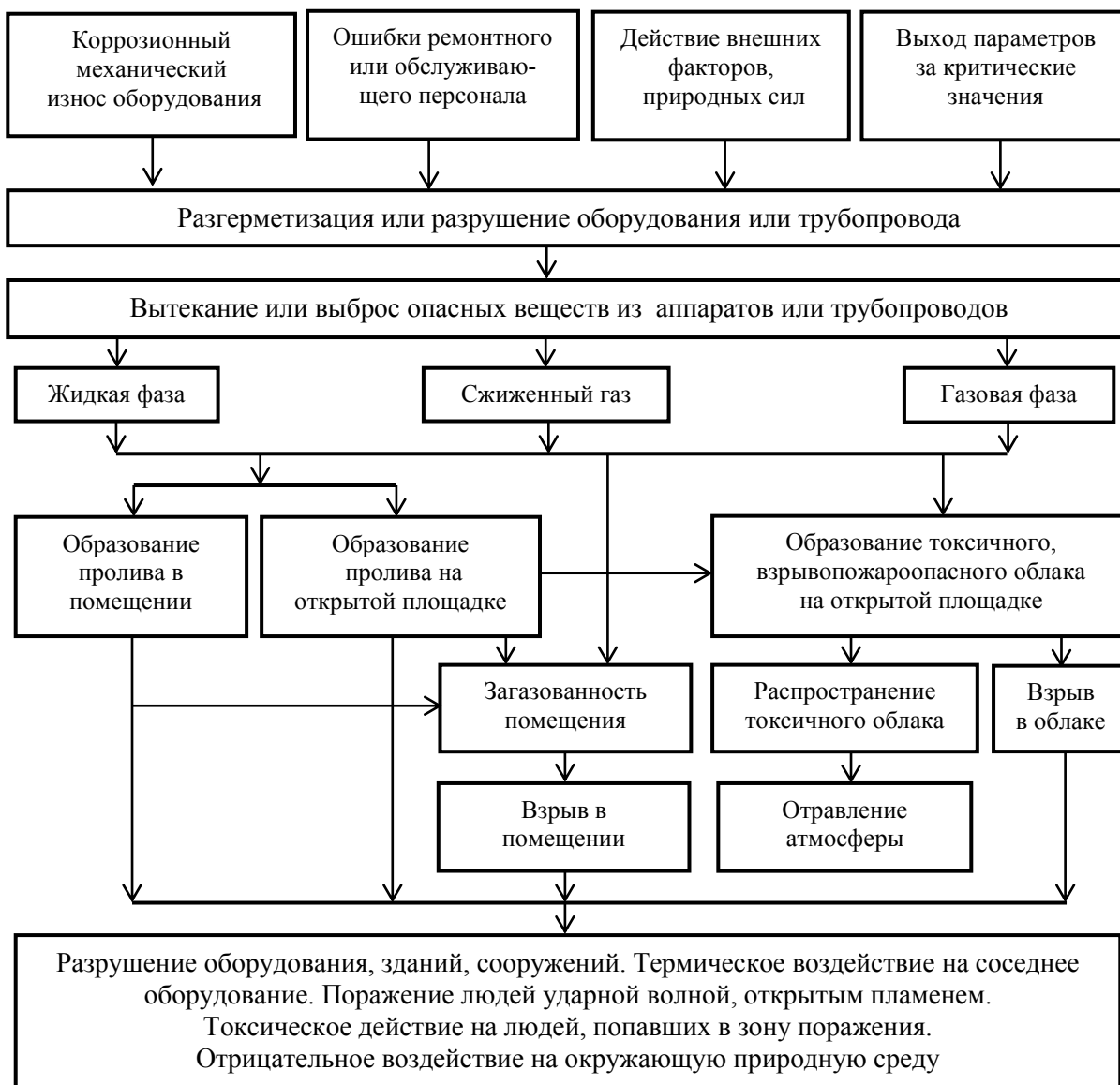


Рис. 1. Общая схема развития аварийной ситуации

При аварии может возникнуть чрезвычайная ситуация с химической обстановкой:

первого типа - в случае мгновенной разгерметизации (взрыва) емкостей или оборудования, содержащих газообразные (под давлением), криогенные, перегретые сжиженные АХОВ, при этом образуется их первичное облако;

второго типа - при аварийных выбросах или проливах сжиженных ядовитых газов, перегретых летучих токсических жидкостей с температурой кипения ниже температуры окружающей среды. До 10 % аварийно химически опасных веществ мгновенно испаряется, образуя первичное облако, другая часть постепенно испаряется, образуя вторичное облако;

третьего типа - возникают при проливе в поддон (обвалование) или на подстилающую поверхность АХОВ с температурой кипения ниже или близкой к температуре окружающей среды, при горении большого количества удобрений, при этом образуется вторичное облако;

четвертого типа - при аварийном выбросе (проливе) значительного количества мало-летучих аварийно химически опасных веществ, приводящих к загрязнению местности.

Перечисленные типы химической обстановки, особенно второй и третий, могут сопровождаться пожарами и взрывами, что повышает концентрацию поражающих веществ, увеличивает возможные потери.

Особенности аварийно химически опасных веществ

Химически опасные производства связаны с обращением вредных химических веществ и энергоносителей. Например, номенклатура продукции химического завода может включать тысячи различных материалов и веществ, многие из которых токсичны и ядовиты. Наиболее часто на таких объектах используются кислоты, сероводород, аммиак, сероуглерод, хлор. Благодаря физико-химическим и токсическим свойствам аварийно химически опасные вещества могут нанести вред окружающей среде.

Основные особенности аварийно химически опасных веществ: способность переноситься на большие расстояния, оказывать не только непосредственное действие, но и заражать людей посредством воды, продуктов, окружающих предметов; объемность действия, то есть способность проникать в негерметизированные помещения; большое разнообразие.

Различают следующие виды аварийно химически опасных веществ: с преимущественно удушающими свойствами; преимущественно общеядовитого действия; обладающие удушающим и общеядовитым действием; нейротропные яды; обладающие удушающим и нейротропным действием; метаболитические яды.

По степени воздействия на организм человека вредные вещества разделяются на четыре класса (табл.1) [3]: первый - чрезвычайно опасные; второй - высокоопасные; третий - умеренно опасные; четвертый - малоопасные. Вещества первого и второго классов опасны для жизни даже при незначительных утечках. Для отнесения объекта экономики к степеням химической опасности необходимо [4-21] прогнозировать масштабы возможного химического заражения, моделируя сценарии аварий, обусловленных возможными иницирующими событиями.

Прогнозирование возможной химической обстановки и существующие взгляды на организацию защиты населения

Под химической обстановкой понимают возникающие в результате аварий на объекте условия, которые могут оказать влияние на жизнедеятельность населения, работу объекта и действия сил ликвидации чрезвычайной ситуации [22-30]. Для обоснования

мероприятий по защите населения используются различные научно-методические подходы прогнозирования последствий аварий:

1. Методика прогнозирования масштабов возможного химического заражения аварийно химически опасными веществами при авариях на химически опасных объектах и транспорте [1];

2. Методика прогнозирования масштабов возможного химического заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях на химически опасных объектах и транспорте;

3. Методические указания по прогнозированию медико-санитарных последствий химических аварий и определения потребности в силах и средствах для их ликвидации;

4. Методика оценки последствий химических аварий (Методики оценки последствий аварий на опасных производственных объектах. Сер. 27. НТЦ «Промышленная безопасность». - 2006);

5. Методические указания по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ (РД-03-26-2007).

Методики №№ 3-5 требуют знания технологических процессов, что влияет на оперативность принятия решений в условиях недостатка времени при аварии, поэтому для определения обстановки рекомендуется использовать методику № 1. Масштабы возможного заражения АХОВ рассчитывают: для сжиженных газов – по первичному и вторичному облаку; для сжатых газов – по первичному облаку; для ядовитых жидкостей, кипящих выше температуры окружающей среды – по вторичному облаку.

Общие потери населения (чел.) могут быть определены по формуле:

$$P^o = S_b \cdot \left[\frac{\Gamma_r}{\Gamma} \cdot \Delta \cdot K + \left(1 - \frac{\Gamma_r}{\Gamma} \right) \cdot \Delta' \cdot K' \right], \quad (1)$$

где Γ_r – глубина распространения облака зараженного АХОВ воздуха в городе или населенном пункте, км; Γ – глубина зоны возможного химического заражения, км; Δ , Δ' – средняя плотность населения, соответственно, в городе и безопасном районе (чел/км²); K , K' – доля незащищенного населения, соответственно, в городе и безопасном районе.

Основные мероприятия по защите персонала и населения включают [1]:

по организации ликвидации чрезвычайной ситуации, предполагающие размещение пунктов управления в нижних этажах зданий и дублирование их элементов в запасных пунктах управления объектов;

технологические (производственные) мероприятия, реализуемые:

- в мирное время, исключаящие разлив АХОВ отключением уязвимых участков технологического процесса; опорожнение в аварийных ситуациях особо опасных участков в заглубленные емкости;

- при введении военного положения, предполагающие сокращение запасов и сроков хранения АХОВ на складах и в емкостях с учетом необходимости функционирования объекта;

непосредственно мероприятия по защите населения, предполагающие: создание систем контроля аварийных выбросов; создание технических систем оповещения населения; эвакуацию персонала организаций и населения;

- создание и оборудование убежищ, которые следует содержать в готовности к немедленному приему укрываемых;

- создание запасов и обеспечение средствами индивидуальной защиты от радиоактивных, отравляющих и аварийно опасных веществ, бактериальных (биологических) средств, светового и теплового излучения;

- формирование вокруг химически опасного объекта, в соответствии с санитарной классификацией промышленных объектов, санитарно-защитной зоны с целью снижения возможного воздействия (M): первого класса – 1000; второго – 500; третьего – 300; четвертого – 100; 5 класса – 50.

Полный ущерб (руб.) P_a от аварии выражается формулой [31]:

$$P_a = P_{п.п} + P_{л.а} + P_{сэ} + P_{н.в} + P_{экол} + P_{в.т.р}, \quad (2)$$

где $P_{п.п}$ - *прямые потери организации, руб.*,

$$P_{п.п} = P_{о.ф} + P_{тм.ц} + P_{им}, \quad (3)$$

$P_{о.ф}$, $P_{тм.ц}$, $P_{им}$ – соответственно, потери в результате уничтожения и (или) повреждения: основных фондов; товарно-материальных ценностей (продукции, сырья и т.п.); имущества третьих лиц, руб.;

$P_{л.а}$ - *затраты на локализацию (ликвидацию) и расследование аварии, руб.*,

$$P_{л.а} = P_{л} + P_{р}, \quad (4)$$

$P_{л}$ - *расходы, связанные с локализацией и ликвидацией последствий аварии, руб.*; $P_{р}$ - *расходы на расследование аварии, руб.*;

$P_{сэ}$ - *социально-экономические потери, руб.*,

$$P_{сэ} = P_{г.п} + P_{г.т.л} + P_{т.п} + P_{т.т.л}, \quad (5)$$

$P_{г.п}$, $P_{г.т.л}$, $P_{т.п}$, $P_{т.т.л}$ – соответственно затраты на компенсации и мероприятия вследствие: гибели персонала, руб.; гибели третьих лиц, руб.; травмирования персонала, руб.; травмирования третьих лиц, руб.;

$P_{н.в}$ - *косвенный ущерб, руб.*,

$$P_{н.в} = P_{н.п} + P_{з.п} + P_{ш} + P_{н.п.т.л}, \quad (6)$$

$P_{н.п}$ - *часть доходов, недополученных в результате простоя*; $P_{з.п}$ - *зарплата и условно-постоянные расходы предприятия за время простоя*; $P_{ш}$ - *убытки, вызванные уплатой неустоек, штрафов, пени и пр.*; $P_{н.п.т.л}$ - *убытки третьих лиц из-за недополученной ими прибыли*;

$P_{экол}$ - *экологический ущерб (объектам окружающей природной среды), руб.*,

$$P_{экол} = Э_a + Э_в + Э_п + Э_б + Э_о, \quad (7)$$

$Э_a$, $Э_в$, $Э_п$, $Э_б$, $Э_о$ – соответственно, ущерб: от загрязнения атмосферы, водных ресурсов или почвы; связанный с уничтожением биологических (в том числе лесных массивов) ресурсов; от засорения (повреждения) территории обломками (осколками) зданий, оборудования;

$P_{в.т.р}$ - *потери от выбытия трудовых ресурсов в результате гибели людей или потери ими трудоспособности. Потери в результате гибели человека:*

$$P_{в.т.р.г} = H \cdot T, \quad (8)$$

H - *доля прибыли, недоданная работающим, руб./день*; T - *потеря рабочих дней в результате гибели одного работающего, принимаемая равной 6000 дней.*

Установленные требования по защите населения определяют общие подходы, но алгоритм их применения зависит от различных факторов - типа аварии, вида химической обстановки и др.

Предложения по обеспечению защиты населения при аварии

Организация защиты населения [32] при аварии представляет комплекс мероприятий, проводимых заблаговременно и непосредственно при возникновении аварии, а также в процессе ликвидации последствий химической аварии. Она включает (рис. 2): анализ химически опасного объекта и его опасностей; прогнозирование обстановки при аварии; выбор способов и методов защиты населения.

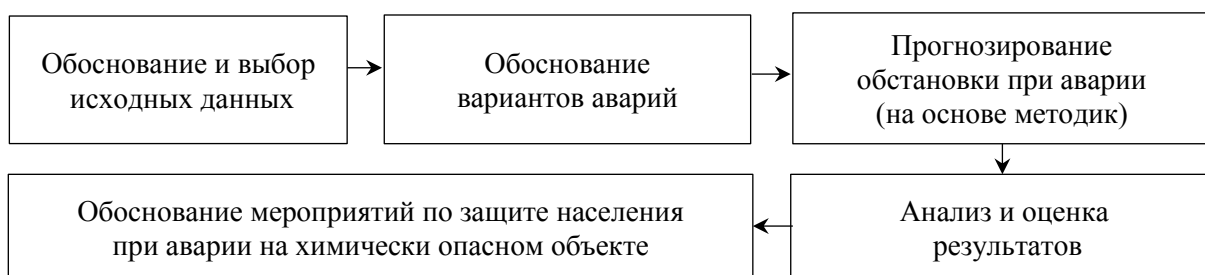


Рис. 2. Схема обоснования мероприятий по защите населения

Основными химическими угрозами на сегодня являются: использование химических веществ с высокой токсичностью; внедрение в производство химических веществ, воздействие которых на человека и окружающую среду изучено недостаточно; наличие выведенных из эксплуатации химических объектов, а также территорий, загрязненных в результате хозяйственной деятельности; аварии на химических объектах; отсутствие эффективных решений по рекультивации загрязненных территорий; террористические акты.

Заблаговременно проводятся следующие мероприятия по защите людей:

- реализация требований по размещению химически опасных объектов, создание системы контроля (мониторинга) за химической обстановкой, а также локальных систем оповещения;
- прогнозирование зон возможного химического заражения и, на этой основе, накопление средств индивидуальной защиты органов дыхания и кожи, антидотов и др.;
- поддержание в готовности к использованию убежищ;
- принятие мер по защите продовольствия, пищевых продуктов, фуража, запасов воды от заражения АХОВ и др.

Несмотря на предпринимаемые государством усилия, существует возможность реализации угроз химического характера при военных конфликтах или чрезвычайных ситуациях.

Основными тенденциями в области обеспечения химической защиты населения являются: предупреждение чрезвычайных ситуаций, связанных с химическими факторами; внедрение новых механизмов управления рисками; совершенствование способов управления рисками с учетом угроз национальной безопасности и функционирования систем обеспечения безопасности жизнедеятельности населения.

План химической защиты – комплекс заблаговременных и взаимосвязанных организационно-технических, инженерных, медико-санитарных, эвакуационных и иных мероприятий, направленных на защиту персонала и населения от угроз и опасностей химического характера.

Он должен содержать следующую информацию: прогноз аварий и результаты обстановки с указанием возможных потерь; мероприятия по защите населения; расположение складов средств химической защиты, места складирования и хранения обеззараживающих материалов; состав и сроки готовности необходимых сил химической защиты; схемы сбора данных о химической обстановке и управления, и др.

Мероприятия, направленные на предупреждение аварий и ликвидацию их последствий, осуществляются в режиме повседневной деятельности, режиме повышенной готовности и режиме чрезвычайной ситуации.

В режиме повседневной деятельности осуществляются: сбор информации о химически опасных объектах, контроль за обстановкой на их территориях; прогнозирование аварий; подготовка органов управления [33-39], сил и средств к действиям при аварии; создание резервов ресурсов для ликвидации последствий аварий; организация обучения населения способам защиты; планирование действий по предупреждению и ликвидации чрезвычайной ситуации и др.

В режиме повышенной готовности: усиливается наблюдение и контроль за обстановкой на химически опасных объектах и прилегающих территориях; прогнозируются возможность возникновения чрезвычайной ситуации, приводятся в состояние готовности силы и средства; принимаются меры по защите населения, обеспечению устойчивого функционирования объектов и др.

В режиме чрезвычайной ситуации основными мероприятиями по химической защите населения являются: обнаружение факта химической аварии и оповещение о ней; оценка химической обстановки; укрытие населения, обеспечение его, персонала, участников ликвидации аварии средствами индивидуальной защиты; дегазация аварийного объекта, территорий, транспорта, средств защиты, имущества, продовольствия и воды; эвакуация граждан и др.

В случае аварии защита населения обеспечивается: ограничением пребывания на открытой местности; эвакуацией; исключением или ограничением потребления загрязненных продуктов питания; регулированием доступа в район загрязнения; обработкой продуктов питания, воды, загрязненных аварийно химически опасными веществами; защитой органов дыхания; дегазацией загрязненной местности и др.

Авария на химически опасном объекте относится к быстро развивающимся чрезвычайным ситуациям, а время на принятие решения по защите населения крайне ограничено, поэтому наибольший эффект для защиты населения имеет укрытие его в жилых, производственных помещениях и обеспечение их герметизации с одеванием средств индивидуальной защиты или с использованием подручных средств и материалов для защиты.

Предложения по обеспечению безопасности функционирования химически опасных объектов

Решения, направленные на исключение разгерметизации оборудования и предупреждение аварийных выбросов опасных веществ

Для исключения разгерметизации оборудования и предупреждения аварийных выбросов опасных веществ следует выделить следующее:

- применение герметичного оборудования и трубопроводов, материал которых соответствует коррозионности сред, температуре и давлению;
- испытание всех аппаратов и отдельных узлов технологических установок на герметичность и прочность;
- защита оборудования от эрозии;

- обеспечение герметичности фланцевых соединений, что обеспечивается систематическим надзором за их состоянием;
- все фланцевые соединения нагнетательных трубопроводов, предназначенных для передачи концентрированных щелочей или горючих растворов, у рабочих мест и проходов должны защищаться предохранительными кожухами;
- слив из железнодорожных цистерн на специально оборудованных сливных эстакадах;
- оснащать оборудование средствами контроля и регулирования технологических параметров;
- специальные устройства, гарантирующие снижение объема выделений в местах отбора проб и равномерных вентилей;
- опорожнение трубопроводов производится через шлюзы малого объема с закрывающими относительно друг друга запорными арматурами;
- защита оборудования от превышения давления системой предохранительных устройств;
- защита теплообменного оборудования от тепловых деформаций осуществляется подбором конструкций теплообменников по ГОСТам и ТУ;
- своевременное проведение ревизий технологических трубопроводов и оборудования;
- освидетельствование емкостей;
- своевременное проведение технического обслуживания и капитального ремонта оборудования и трубопроводов;
- ограничение вредных влияний окружающей среды, таких как коррозия (покрытие подводящих трубопроводов, емкостей защитным слоем краски) и др.

Для снижения последствий аварии в производстве предусматривается система противоаварийной автоматической защиты.

*Решения, направленные на предупреждение развития
аварий и локализацию выбросов опасных веществ*

В качестве решений можно выделить следующее:

- разделение технологической схемы на блоки с установкой межблочной отсекающей арматуры с дистанционным управлением;
- при аварийной разгерметизации аппаратов, трубопроводов и емкостей предусматривать аварийные емкости;
- установка автоматических газоанализаторов для обеспечения контроля за состоянием воздушной среды в помещениях;
- оснащение световой и звуковой сигнализацией нарушений технологических параметров и возникновения загазованности на рабочих местах;
- оборудование помещений системами вентиляции с необходимой кратностью воздухообмена;
- оборудование системы оповещения об аварийных ситуациях;
- установка поддонов под оборудование для предотвращения растекания жидкостей, содержащих вредные вещества;
- оснащение производственных помещений по принадлежности автоматическими установками пожаротушения, автоматическими установками пожарной сигнализации, противопожарным водопроводом;
- оснащение первичными средствами пожаротушения (порошковые и углекислотные огнетушители, асбестовое полотно, песок);
- поддержание в работоспособном состоянии инженерных сетей, систем энергоснабжения, молниезащиты, пожаротушения;
- повышение профессиональной подготовки работников, обеспечение его средствами индивидуальной и коллективной защиты;

- обеспечение эффективного функционирования системы производственного контроля соблюдения требований промышленной безопасности.

Решения, направленные на обеспечение взрывопожаробезопасности

Для обеспечения взрывопожаробезопасности на химически опасных объектах, кроме мер, описанных выше, может быть предусмотрено следующее:

- предусматривать, для предотвращения образования взрывоопасной смеси, автоматизированную систему управления и контроля за технологическим процессом, обеспечивающую поддержание оптимальных и безопасных режимов, а также надежную систему автоматической защиты технологического процесса посредством срабатывания предусмотренных блокировок;
- систематический обход с мобильными индикаторами протечек или с переносными газоанализаторами;
- своевременный ремонт, чистка и испытание аппаратов, арматуры и трубопроводов;
- обеспечение контроля за исправностью и герметичностью оборудования, трубопроводов, арматуры, контрольно-измерительных приборов и др.;
- регулярное проведение профилактического осмотра и технического освидетельствования оборудования и трубопроводов;
- выполнение сроков поверки исправности приборов и систем контроля и управления, систем противоаварийной защиты;
- устойчивость электроснабжения производства должна соответствовать нормам (обеспечение электроэнергией от двух независимых источников). Электроприемники химически опасного объекта относятся, как правило, к I и II категориям по надежности электроснабжения. К I категории по надежности электроснабжения могут быть отнесены, например, технологическое оборудование и освещение; к II категории - технологическое оборудование, вентиляция;
- применение взрывозащищенного электрооборудования, поддержание в исправном состоянии заземлений и соблюдение правил эксплуатации электрооборудования, средств молниезащиты;
- поддержание в исправности средств сигнализации и блокировок;
- регулярная аттестация персонала по безопасным приемам работы и действиям в чрезвычайных ситуациях;
- ремонт электрооборудования в соответствии с графиком планово-предупредительных работ с записями в оперативных журналах цеховых энергослужб;
- обслуживание систем электроснабжения предприятий высококвалифицированным персоналом;
- молниезащита и защита от статического электричества корпусов со взрывопожароопасными зонами;
- контроль системы заземления в соответствии с графиком;
- зануление электрооборудования специальной четвертой жилой кабеля для защиты людей от поражения электрическим током;
- защитой от заноса высокого потенциала по внешним надземным металлическим коммуникациям, и др.

Предложения по внедрению мер, направленных на уменьшение риска аварии

Для уменьшения риска аварий и повышения эффективности их локализации предлагается выполнять следующие мероприятия:

- обеспечивать контроль за исправностью и герметичностью оборудования, трубопроводов, арматуры, контрольно-измерительных приборов и др.;

- своевременно проводить диагностирование состояния оборудования и трубопроводов;
- для обеспечения минимального количества выбрасываемых в окружающую среду при аварийных утечках горючих веществ технологические схемы разбивать на блоки, которые при аварийной разгерметизации одного из них могут быть отключены от технологической линии без опасных нарушений режима и создания аварийной обстановки на смежных и взаимосвязанных технологических установках;
- устанавливать предохранительные клапаны для предотвращения повышения давления выше допустимого на технологических линиях и оборудовании;
- устанавливать автоматические газоанализаторы для обеспечения контроля за состоянием воздушной среды в помещениях;
- оснащать световой и звуковой сигнализацией нарушения технологических параметров, выхода в критическую зону и возникновения загазованности на рабочих местах;
- для предотвращения образования взрывоопасной смеси предусматривать автоматизированную систему управления и контроля за технологическим процессом, обеспечивающую поддержание оптимальных и безопасных режимов, а также быструю и надежную систему автоматической защиты технологического процесса посредством срабатывания предусмотренных блокировок;
- оснащать рабочей и аварийной вентиляцией;
- выполнять вытяжные вентиляционные системы аппаратов во взрывобезопасном исполнении;
- контроль технологического процесса и управление оборудованием должны быть автоматизированы или осуществляться дистанционно;
- устанавливать поддоны под оборудование для предотвращения растекания жидкостей, содержащих вредные вещества;
- создавать запасы и организовывать подачу дегазирующих (инертных) веществ;
- оборудовать объекты системами оповещения, сигнализации и пожаротушения;
- поддерживать в работоспособном состоянии инженерные сети, системы энергоснабжения, молниезащиты, пожаротушения;
- создавать и хранить аварийный комплект инструмента и технических средств для локализации аварийных ситуаций и ликвидации их последствий;
- обеспечивать производственный персонал спецодеждой, обувью и другими средствами, применение которых отражается в соответствующих инструкциях;
- проводить плановые систематические мероприятия по повышению профессиональной и противоаварийной подготовки работников, осуществляющих эксплуатацию химически опасных производств;
- организовывать и обеспечивать эффективное функционирование системы производственного контроля и соблюдения требований промышленной безопасности при эксплуатации химически опасных объектов.

*Предложения по совершенствованию систем химического мониторинга,
информирования и оповещения населения*

Станции химического мониторинга загрязнения атмосферы являются средством измерений, предоставляющим информацию для принятия решений. От уровня оснащения станций, их аппаратного и программного обеспечения зависит эффективность системы. С учетом основных принципов и направлений совершенствования системы мониторинга химического загрязнения окружающей среды, а также того, что достижение целей и решение задач химического мониторинга носит долговременный характер, предлагается:

обеспечить организацию и функционирование локальных систем наблюдений и мониторинга загрязнения окружающей среды в районах расположения объектов с высоким риском загрязнения окружающей среды;

продолжить работу по разработке взаимоувязанных правовых актов, определяющих требования к формированию государственной наблюдательной сети, к формату, содержанию информации о загрязнении окружающей среды, обмена указанной информацией, повышению уровня использования результатов мониторинга;

обеспечить развитие и модернизацию (повышение уровня технического оснащения) систем химического мониторинга.

Развитие стационарных систем автоматического контроля и сети передвижных станций атмосферного мониторинга будет способствовать своевременному прогнозированию и контролю за обстановкой по распространению аварийно химически опасных веществ. Это в комплексе создаст условия по принятию оперативных управленческих решений по защите населения.

Оповещение населения - это доведение до него сигналов оповещения и экстренной информации об опасностях, возникающих при угрозе возникновения или возникновении чрезвычайной ситуации, при ведении военных действий, о правилах поведения и необходимости проведения мероприятий по защите.

Информирование населения - это доведение до него через средства массовой информации и по иным каналам информации о прогнозируемых и возникших чрезвычайных ситуациях, принимаемых мерах по обеспечению безопасности населения и территорий, приемах и способах защиты.

Специализированные технические средства оповещения и информирования населения в местах массового пребывания людей осуществляют прием, обработку и передачу аудио- и (или) аудиовизуальных, иных сообщений об угрозе возникновения, о возникновении чрезвычайных ситуаций и правилах поведения.

Например, локальные системы оповещения предназначены для оперативного оповещения населения об авариях на химически опасных предприятиях. С их помощью можно своевременно оповещать не только персонал объекта, но и население, попадающее в зоны возможного химического заражения. Общее время доведения сигналов оповещения и экстренной информации до населения с момента получения данных об угрозе должно обеспечивать проведение мероприятий по его защите: инженерной (укрытие населения); радиационной, химической и биологической; эвакуационных и т.д.

Предложения по повышению эффективности действий аварийно-спасательных сил и средств

Основные задачи аварийно-спасательных сил: разведка очага заражения, эвакуация населения, спасательные работы, локализация источника заражения, снижение уровня поражающих факторов, тушение пожаров, расчистка завалов, обеззараживание территории, техники, санитарная обработка населения. Основными приемами и способами ликвидации последствий аварий являются:

- приостановка или ограничение истечения АХОВ из поврежденных коммуникаций, емкостей путем перекрытия кранов, задвижек на трубопроводах, дренаж и перекачка их из аварийных емкостей в резервные;
- локализация и обеззараживание первичного и вторичного облаков АХОВ путем постановки жидкостных завес;
- обвалование пролива, сбор жидкостной фазы аварийно химически опасных веществ, заливка нейтрализующими растворами, покрытие нейтрализующими пленками и плавающими экранами.

С учетом необходимо:

обеспечивать 100 % лиц, участвующих в аварийно-спасательных работах, средствами индивидуальной защиты, а также 100 % их резерв и табельных дегазирующих веществ;

обеспечивать резерв сорбентов, нейтрализаторов с учетом обращающихся в химическом производстве аварийно химически опасных веществ;

оснащение аварийно-спасательных сил инженерной техникой (экскаваторы, краны, бульдозеры, траншейные машины и т.д.);

не менее двух раз в год практическую отработку слаженности действий и взаимодействия.

Применение рассмотренных положений обеспечивает безопасность и устойчивость функционирования химически опасного объекта и влияет на безопасность его персонала и населения, проживающего вблизи него.

Литература

1. СП 165.1325800.2014 Инженерно-технические мероприятия по гражданской обороне.
2. ГОСТ Р 22.0.05-2020 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные чрезвычайные ситуации. Термины и определения».
3. ГОСТ 12.1.007-76* Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
4. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов».
5. Седнев В.А. Управление безопасностью экономики и территорий. Учебник / Москва, Академия ГПС МЧС России. - 2019. (5-е изд., перераб.). 299 с.
6. Седнев В.А., Кошечкина Е.И. Управление безопасностью экономики и территорий. Учебное пособие. Под общей редакцией В.А. Седнева. Москва. - 2021. 7-е издание. – 221 с.
7. Седнев В.А., Кошечкина Е.И. Управление безопасностью экономики и территорий. Учебное пособие. Москва. - 2021. (8-е издание). – 314 с.
8. Воронов С.И., Седнев В.А. Авария на Сибирском химическом комбинате: последствия и выводы для обеспечения безопасности населения и устойчивости функционирования. Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. - 2016. № 3 (30). С. 3-9.
9. Седнев В.А., Немцов В.М. Анализ структуры и состава химически опасных объектов. Материалы III Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню гражданской обороны. - 2019. С. 410-416.
10. Седнев В.А., Кошечкина Е.И., Седнев А.В. Оценка факторов, влияющих на безопасность страны в современных условиях. Материалы III Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню гражданской обороны. - 2019. С. 416-423.
11. Седнев В.А., Охотников Ю.А. Выполнение работ на объектах инфраструктуры, подлежащих ликвидации после уничтожения химического оружия. Безопасность в техносфере. - 2018. Т. 7. № 4. С. 61-64.
12. Седнев В.А., Охотников Ю.А. Особенности выполнения работ на объектах инфраструктуры, подлежащих ликвидации после уничтожения химического оружия. Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. - 2019. № 3. С. 73-78.
13. Седнев В.А., Нестругин А.В. Особенности чрезвычайных ситуаций на объектах морского портового хозяйства и оценка сил и средств для их ликвидации. Проблемы управления рисками в техносфере. 2019. №1 (49). С. 60-68.
14. Седнев В.А., Немцов В.М. Научно-методический подход обеспечения защиты окружающей среды при аварии на химически опасном объекте. В сборнике: Экологический императив технологического развития России. Сборник материалов Международной научно-практической конференции. Государственный университет управления. - 2019. С. 155-160.
15. Седнев В.А., Охотников Ю.А. Особенности исходных данных для обоснования научно-методического подхода по защите окружающей среды при выполнении работ на объектах инфраструктуры, подлежащих ликвидации после уничтожения химического оружия. В сборнике: Экологический императив технологического развития России. Государственный университет управления. - 2019. С. 152-154.

16. Седнев А.В., Седнев В.А., Кошечкина Е.И. Факторы, влияющие на организацию защиты населения при применении вооруженной силы иностранным государством. Материалы IV Международной научно-практической конференции. В 3-х частях. - 2020. 294 с. С. 270-277.

17. Седнев В.А., Немцов В.М. Особенности организации защиты населения при авариях на химически опасных объектах. Материалы IV Международной научно-практической конференции. Ч. 2. - 2020. С. 22-29.

18. Седнев В.А., Немцов В.М. Оценка возможной обстановки при аварии на химически опасных объектах Ставропольского края. Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. - 2020. № 1. С. 44-53.

19. Седнев В.А., Седнев А.В., Онов В.А. Системный подход к оценке эффективности инженерного обеспечения действий спасательных формирований. Научно-аналитический журнал Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. - 2020. № 1. С. 111-121.

20. Седнев В.А., Немцов В.М. Анализ факторов, влияющих на организацию защиты населения при авариях на химически опасных объектах Ставропольского края. Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. - 2020. № 2. С. 50-57.

21. Voronov S.I., Popov E.V., Sednev V.A., Voronov O.S. Public safety conditions under radiological emergencies monitoring comprehensive system mobile facilities application. В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. "Advances in Science for Agriculture "Achievements of Science for the Agro-Industrial Complex"". - 2021. С. 012049. 843 (2021). 012049, pp. 1–9. doi:10.1088/1755-1315/843/1/012049.

22. Седнев В.А., Аляев П.А., Седнев А.В. Научно-методический подход обоснования организационно-штатных структур пиротехнических подразделений спасательных воинских формирований МЧС России и их систем управления. Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. - 2019. № 6. С. 26-33.

23. Седнев В.А. Обеспечение защиты боевых расчетов и пожарных автомобилей гарнизонов пожарной охраны. Технологии техносферной безопасности. - 2020. № 1 (87). С. 107-118.

24. Седнев В.А., Седнев А.В., Онов В.А. Методы построения обобщенных критериев эффективности инженерного обеспечения действий спасательных формирований. Научно-аналитический журнал Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. - 2020. № 2. С. 46-51.

25. Седнев В.А., Седнев А.В. Оценка эффективности инженерного обеспечения действий спасательных формирований. Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. - 2020. № 6. С. 107-126.

26. Седнев В.А., Седнев А.В. Основы математического моделирования инженерного обеспечения действий спасательных формирований. Научно-аналитический журнал Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. - 2020. № 4. С. 132-138.

27. Седнев А.В. Особенности информационно-аналитического обеспечения принятия решений в территориальных органах управления. Материалы V Международной научно-практической конференции. В 4-х частях. - 2021. С. 283-293.

28. Седнев А.В. Основные положения системного анализа и исследования операций для обоснования программно-аппаратной платформы организационной структуры и её органа управления. Материалы VI Международной научно-практической конференции. Москва. - 2022. Часть III. С. 29-42.

29. Седнев В.А., Клецков В.М., Седнев А.В. Информационно-аналитическое обеспечение территориальных органов исполнительной власти в кризисных ситуациях. Монография. Москва. - 2019. 166 с.

30. Voronov O.S., Popov E.V., Sednev V.A., Voronov S.I. Management of information processes under a radiation emergency. В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. "Advances in Science for Agriculture "Achievements of Science for the Agro-Industrial Complex"". - 2021. С. 012054. 843 (2021) 012054, pp. 1–7. doi:10.1088/1755-1315/843/1/012054.

31. Постановление Госгортехнадзора РФ от 29.10.2002 № 63 «Об утверждении Методических рекомендаций по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах».

32. Решение Коллегии МЧС России от 04.12.2019 № 8/П «Об утверждении актуализированной редакции Концепции радиационной, химической и биологической защиты населения».

33. Кудрин Б.И., Седнев В.А., Воронов С.И. Семнадцать лекций по общей и прикладной ценологии. Монография. 3-е изд. Москва, Российская академия наук. - 2020. 218 с.

34. Седнев А.В. Особенности мер, обеспечивающих защиту информации от неправомерных действий. Материалы III Международной научно-практической конференции. Москва. - 2019. 488 с. С. 388-396.

35. Седнев А.В. Содержание и регулирование отношений в сфере защиты информации. Материалы 4-й Международной научно-практической конференции научного отделения № 10 Российской академии ракетных и артиллерийских наук. Москва. - 2019. Т. 1. С. 277-283.

36. Седнев А.В. Защита информации как составляющая обеспечения безопасности государства / Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. - 2019. №6. С. 114-119.

37. Седнев А.В. Мероприятия по обеспечению безопасности информации в организационных структурах. Материалы IV Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню гражданской обороны. В 3-х частях. Ч. 2. - 2020. С. 58-66.

38. Седнев А.В. О создании системы информационной безопасности организационной структуры. Материалы 5-й Международной научно-практической конференции научного отделения № 10 Российской академии ракетных и артиллерийских наук: в 2 т. Т. 1. Москва. - 2020. С. 345-351.

39. Седнев А.В. Проблемные вопросы обеспечения информационной безопасности органов управления. Материалы 6-й Международной научно-практической конференции научного отделения №10 Российской академии ракетных и артиллерийских наук. В 3-х томах. Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана. - 2021. Т. 1. 412 с. С. 361-367.

Сведения об авторе

Седнев Владимир Анатольевич – профессор кафедры гражданской обороны, защиты населения и территорий (в составе учебно-научного комплекса гражданской обороны, защиты населения и территорий) Академии Государственной противопожарной службы МЧС России, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, почетный работник науки и техники Российской Федерации, профессор, лауреат премии правительства Российской Федерации в области науки и техники, лауреат премии правительства Российской Федерации в области образования. Тел. 8(926)531-29-24, E-mail: sednev70@yandex.ru

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К СОЗДАНИЮ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ СПАСЕНИЯ

Доктор техн. наук *Р.А. Дурнев*
ФГБУ РАРАН

И.В. Жданенко
ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ)

Предлагается подход к созданию экспертных систем для выбора рациональных технологий аварийно-спасательных работ (АСР). Основу данного подхода должны составлять алгоритмы нечеткого вывода, предназначенные для выбора указанных технологий в зависимости от ситуации на объекте выполнения АСР. Кроме того, необходимо применять искусственные нейросети, позволяющие осуществлять поиск в банке данных таких ситуаций, которые наиболее близки к реальным.

Ключевые слова: аварийно-спасательные работы, объект работ, искусственный интеллект, автоматизация, экспертные системы, алгоритм, неопределенность, теория нечётких множеств, нечёткий вывод, искусственные нейросети.

METHODOLOGICAL APPROACH TO THE CREATION OF EXPERT SYSTEMS TO CHOOSE A RATIONAL RESCUE TECHNOLOGY

Dr. (Tech.) *R.A. Durnev*
FGBU RARAN

I.V. Zhdanenko
FC VNII GOCHS EMERCOM of Russia

An approach to the creation of expert systems for the selection of rational technologies of emergency rescue operations (ASR) is proposed. The basis of this approach should be fuzzy inference algorithms designed to select these technologies depending on the situation at the ASR execution facility. In addition, it is necessary to use artificial neural networks that allow searching in the data bank for such situations that are closest to real ones.

Keywords: Emergency rescue operations, object of work, artificial intelligence, automation, expert systems, algorithm, uncertainty, fuzzy set theory, fuzzy inference, artificial neural networks.

С момента появления первых электронно-вычислительных машин разработкой автоматизированных систем управления (АСУ), предусматривающих различное участие в них человека, активно занимаются в самых различных сферах. Автоматизация процессов управления проходила много этапов, последний из которых связывают с технологиями искусственного интеллекта (ТИИ). В настоящее время существует огромное, крайне про-

творечивое и изменчивое во времени дефиниционное поле понятия «искусственный интеллект» (ИИ). Из всех этих определений наиболее адекватным представляется приведенное в Стратегических направлениях в области цифровой трансформации науки и высшего образования, утвержденных распоряжением Правительства Российской Федерации от 21 декабря 2021 года №3759-р. В них под ИИ понимают комплекс технологических решений, позволяющих имитировать когнитивные функции человека (включая самообучение и поиск решений без заранее заданного алгоритма) и получать при выполнении конкретных задач результаты, сопоставимые, как минимум, с результатами интеллектуальной деятельности человека. При этом машинное обучение – это класс методов ИИ, характерной чертой которых является не прямое решение задач, а обучение за счет решений множества сходных задач. Эти определения, несмотря на их преимущества перед многими другими, также не лишены недостатков.

Так, например, когнитивные – это, прежде всего, познавательные функции человека, направленные на получение, приобретение, усвоение новых знаний. Очевидно, что многие ТИИ, предназначенные для распознавания образов (фотографий, букв, ситуаций) или передвижения двуногих роботов, к таковым отнесены быть не могут (самим человеком выполняются в большинстве случаев неосознанно).

Кроме того, в основе указанных технологий (как бы красиво это не звучало – «самообучение», «поиск решений без заранее заданного алгоритма») лежат и, как представляется, всегда будут лежать (по крайней мере для компьютеров на полупроводниковой микроэлектронике) алгоритмы, в том числе и самообучения [1]. Большинство задач, решаемых ими – оптимизация систем (нахождение наилучших в каком-то смысле), классификация объектов (разбиение множества на классы в соответствии с критериями), экстраполяция данных (нахождение промежуточных значений) и другие ранее успешно решались с помощью традиционных, глубоко формализованных, методов. В последние несколько десятилетий стали активно применять методы ИИ, которые в каком-то смысле приобрели антропоморфные (очеловеченные) черты. Они либо копировали биологические процессы (например, сеть нейронов в мозгу человека, как у МакКаллока-Питса, или эволюционные алгоритмы, как у Д. Холланда), либо позволяли оперировать с рассуждениями на естественном языке (например, теория нечётких множеств Л. Заде). И хотя процесс получения результатов стал более эффективен, но их основу составляли те же алгоритмы, которые возможно запрограммировать на компьютере в виде последовательности нулей и единиц. Недаром многие специалисты говорят о том, что методы ИИ – это не «подглядывание» за природой, а формализмы машинного обучения [2].

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

Нет смысла говорить о тех успехах, которых достигла автоматизация – почти всё вокруг нас либо работает в автоматизированном режиме, либо создано автоматизированным способом. Однако у автоматизации есть принципиальная особенность (судя по её успехам – не хочется говорить недостаток) – она не работает в неалгоритмизированном пространстве, в таком, где четко не определены все шаги и их порядок. Поэтому число ситуаций, доступных ей, ограничено, и для того, чтобы осваивать всё их бесконечное разнообразие, автоматизации нужно беспрестанно долго развиваться. Хотя когда-нибудь человечество на каких-нибудь супермощных вычислительных устройствах запустит программу, которая будет объединять практически всё, что возможно алгоритмизировать, например, в спасательной сфере – и расчет траектории лаза в завале, и распознавание состояния пострадавших в местах блокирования, и принятие решения руководителем ликвидации ЧС, и

анализ поведенческих мотивов поисковой собаки и многое другое. И судя по тому, что на многие вычислительные вопросы у такой программы будут ответы, то возникнет иллюзия сравнимого с человеческим искусственного интеллекта. Но, в действительности, это будет автоматизированная система, которая, попадая в новую, ранее не встречавшуюся и поэтому не алгоритмизированную ситуацию, не сможет с ней справиться. И здесь человеку опять придется потрудиться и над самой ситуацией и над включением её в алгоритм. Конечно, можно дальше продолжить совершенствование такой глобальной автоматизированной системы и научить её самостоятельно создавать новые алгоритмы под новые ситуации. Но каждый раз целевая установка алгоритмизации будет исходить от человека, он будет являться работодателем у послушного, очень производительного, многофункционального, но не способного к творчеству работника – компьютера.

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

В этой связи, анализ вышеприведенного определения ИИ позволяет отметить следующее. Во-первых, в основе процессов «самообучения и поиска решений без заранее заданных алгоритмов» всё равно будут лежать алгоритмы, т.е. это будет та же автоматизация на новом витке своего развития. Во-вторых, использование этих алгоритмов, безусловно, будет приводить к результатам, получение которых с использованием традиционных методов невозможно или затруднительно. Ряд преимуществ указанных алгоритмов будут связаны с «обучением» компьютеров решению определенных задач за счет предварительного решения множества сходных задач (как, например, в искусственных нейросетях) или формализации логических суждений человека (как в экспертных системах на нечеткой логике). В-третьих, сопоставимость этих результатов с результатами интеллектуальной деятельности человека будет постоянно повышаться, в основном, по мере развития микроэлектроники.

Но даже с этими оговорками в настоящее время справедливо считается, что именно в автоматизации существуют скрытые резервы повышения эффективности многих процессов. В спасательном деле автоматизация позволит значительно повысить оперативность и обоснованность принятия решений, а значит – уменьшить ущерб и потери в чрезвычайных ситуациях.

Важнейшей составной частью автоматизированной системы управления в ЧС является подсистема управления на уровне объектов ведения работ и рабочих мест. Именно там, как представляется, заключено многообразие всех возможных факторов обстановки, условий применения аварийно-спасательных средств, индивидуальных действий спасателей (чем-то сродни огромному разнообразию эффектов и закономерностей на молекулярно-атомарном уровне вещества, что привело к выделению из физики и самостоятельному развитию науки химии). При этом, в научном плане особый интерес представляет вопрос - а что должно быть положено в основу алгоритмизации (без алгоритмов, как теперь понятно, в принципе не обойтись) процессов принятия решений в сложных условиях выполнения АСР?

Особенностями этих условий является, прежде всего, наличие огромного количества факторов различной природы, подлежащих учету – от конкретного физиологического состояния спасателя до погрешности в определении места блокирования пострадавшего, от наличия комплекта аварийно-спасательных инструментов у каждого спасателя в формировании – до метеорологических параметров атмосферы в районе выполнения АСР и т.п.

Помимо размерности такой задачи, особую проблему составляют и другие нюансы, например, точность получаемой отдельными спасателями, в том числе руководителями,

информации обо всех рассматриваемых факторах. Представляется, что наиболее адекватным, из того, чем владеет современная наука для описания изменений указанных факторов во времени, является аппарат дифференциальных уравнений в частных производных. Однако при этом многие из этих уравнений оказываются, как показывает практика, очень чувствительными к точности исходных данных и даже пустяковое, с обыденной точки зрения, округление до третьего-четвертого знака после запятой оборачиваются неадекватной оценкой возможной обстановки. Наиболее ярким примером здесь может служить проблема прогнозирования погоды, когда значительные увеличения вычислительных мощностей и количества станций наблюдения не позволяют также существенно повысить точность прогноза. Более того, теории катастроф, хаоса и другие говорят о том, что прогнозирование поведения нелинейных систем с большим числом степеней свободы (что вполне относится к спасательным работам) на длительный период в принципе невозможно. Ну и, наконец, предельная точность любых вычислений связана со знаменитым принципом неопределенности Гейзенберга – на квантово-механическом уровне уже что-то определенное одновременно обо всех рассматриваемых факторах сказать, увы, не получится. Поэтому вполне справедливо отмечается в [3] то, что при построении формальных моделей чаще всего пользуются детерминированными методами и тем самым вносят определенность в те ситуации, где ее в действительности не существует. И чем сложнее система, тем менее мы способны дать точные и в то же время имеющие практическое значение суждения о ее поведении.

Ну и, наконец, значительную проблему в автоматизации (в частности, для выбора рациональных технологий АСР) представляет неопределенность информации, зачастую связанная с её качественным характером. Возможные виды неопределенности, влияющие на рассматриваемые процессы автоматизации, показаны на рис. 1 [4].



Рис. 1. Виды неопределенности, подлежащие учету при автоматизации

Такая составляющая неопределенности, как неизвестность, связана с отсутствием исходных данных на начальном этапе решения, например, до получения текущих данных разведки в зоне ЧС.

Недостоверность определяется тем, что собрана не вся возможная или необходимая информация, есть только приближенные описания элементов или ряд элементов задачи описан по аналогии с ранее решенными (по опыту предшествующих работ, спасательной операции и т.п.).

Неоднозначность характеризуется тем, что вся возможная информация собрана, но полностью определенное описание не получено или не может быть получено. При этом такая её составляющая, как физическая неопределенность, связана с наличием в окружающей среде нескольких возможностей, которые случайным образом становятся действительностью (стохастические факторы), или неточностью измерений (погрешностью), выполняемых физическими приборами (например, поисковыми приборами).

Лингвистическая неопределенность основана на необходимости оперирования конечным числом слов и структур фраз (поступающих по радиосвязи, системе электронного документооборота, устно от руководителя) для описания за конечное время бесконечно сложного мира.

Омонимия связана с наличием одинаково пишущихся и звучащих слов с разной семантикой (коса – песчаная, инструмент для покоса, вид прически; автомат – вид автоматического устройства в системе управления производством или обиходное обозначение устройства для предохранения электросети от коротких замыканий).

Нечеткость определяется тем, что качественным значениям слов нередко придают различное количественное содержание. Например, небольшой запас горючего – это 100 литров или одна тонна?

Прагматическая неопределенность хорошо знакома тем, кто пытался дать определение какому-либо новому понятию, т.е. определенно описать его с помощью уже известных, но также не вполне «определенных» определений (например, понятия «знание», «материя» и др.).

И, наконец, семантическая неопределенность значений фраз связана с богатством любого языка, возможностью фигурально выражаться, приводить метафоры, неточные фразы для более точного описания действительности, выражать свои эмоции («голубые зеленые мысли яростно спят», «глокая куздра штеко будланула бокра и кудрячит бокренка», а также различные элементы профессионализмов, жаргонизмов, ненормативной лексики, которые зачастую сопровождают устную информацию в ситуациях наивысшего эмоционального напряжения в ходе выполнения АСР).

Как же учесть все эти особенности условий аварийно-спасательных работ, связанные с высокой размерностью, неопределенностью, в том числе неточностью информации, какие методы ИИ возможно применить для выбора рациональных технологий?

Следует отметить, что состав методов ИИ практически не меняется длительное время, на протяжении полувека мы говорим о тех же искусственных нейросетях (ИНС), эвристическом программировании, теории нечетких множеств (ТНМ), многозначной логике, генетических алгоритмах, экспертных системах и т.п. Даже популярные сегодня в техническом зрении сверточные нейросети были предложены тридцать лет назад. И весь современный бум их использования связан не столько с научными достижениями, сколько с инновационными технологиями, т.е. коммерциализацией ранее полученного знания. А сама эта коммерциализация является следствием закона Мура, в соответствии с распространенной трактовкой которого каждые два года (это верно для сегодняшнего времени) в два раза увеличивается производительность компьютеров. Если говорить более корректно, то речь идет не столько о росте производительности, сколько о миниатюризации микроэлектроники, о росте количества транзисторов на кремниевой микросхеме заданных

размеров. Но так как из года в год мы являемся свидетелями того, что по размерам наши персональные ЭВМ практически не меняются (или меняются не так значительно – не на порядки, что связано в том числе и с эргономикой), а их характеристики постоянно улучшаются в разы, то и возникает иллюзия роста только производительности. В качестве примера этому рассуждению можно привести то, что именно появление на рынке компьютерных игр мощных видеокарт (продукта развития микроэлектроники) подвигло специалистов по нейросетям к их использованию в своих нуждах. Это определялось тем, что в основе нейросетевых технологий лежат матричные вычисления – необходимо постоянно перемножать и складывать огромные таблицы сигналов, приходящих к нейронам, их весов, ошибок и других элементов. И если для обычных центральных процессоров это достаточно трудоемкие операции, то для графических процессоров, изначально работающих в матричном пространстве пикселей, это «родная» задача. Всё сказанное позволяет сделать вывод о том, что сегодняшний виток интереса к методам ИИ вызван не развитием соответствующей теории и методологии, а «применением старых алгоритмов на новых компьютерах» [5].

Так что же из существующего арсенала методов ИИ можно использовать для выбора рациональных технологий АСР?

Сразу необходимо отметить, что ИНС, к которым в настоящий момент обращено основное внимание, в прямой постановке для решения указанной задачи не пригодны. Искусственные нейронные сети эффективно решают задачи там, где исходные данные носят одномерный характер, как, например, для сенсорных звуковых, визуальных, текстовых и других сигналов. Творческие задачи им не под силу и навряд ли когда-нибудь нейросети смогут доказать, все ли чётные числа являются суммой двух простых, определить, какие из пар чисел (2384, 2023), (3891, 1389), (5261, 1093), ... принадлежат к множеству пар (3751, 1357), (4382, 2348), (7289, 2798)...., просто понять, что «в этих солвах бли допущены опечатки» или о какой косе идет речь в выражении «по деревне шла девушка с косой» [6]. В целом вполне обоснованным представляется вывод о том, что искусственные нейросети могут спрогнозировать только то, что было в обучающем примере, т.е. сделать сугубо локальное обобщение. Человек же способен мыслить гипотетически, расширяя свою модель мира за пределы того, что непосредственно испытал напрямую, приспособившись к абсолютно новым ситуациям или планируя будущее, т.е. совершать глобальное обобщение [1]. Например, придумать идеальный мир, не имеющий аналогов в прошлом и возможностей в будущем, такой, в котором движение существует в мире без силы трения (Ньютон) или возможно погнаться за лучом света (Эйнштейн). И все же для некоторых этапов «выработки рациональных технологий АСР» ИНС возможно будет применить, о чем будет далее сказано.

Представляется, что наиболее пригодным для решения рассматриваемой задачи являются различные экспертные системы знаний, основанные на ТНМ. Именно они позволят учесть высокую размерность и все неопределенности, о которых говорилось выше. Сама эта теория является обобщением классической теории множеств (положенной в основу всей современной математики) на случай различного рода физических, лингвистических и других неопределенностей [3]. В общем виде нечётким множеством A , определенным на области X , является множество пар:

$$A = \{(\mu_A(x), x)\}, \quad \forall x \in X, \quad (1)$$

где для каждого элемента $x \in X$ степень μ_A его принадлежности множеству A задается с помощью функции принадлежности $\mu_A(x)$, равной

$$\mu_A(x) \in [0, 1] \text{ или } \mu_A: X \rightarrow [0, 1]. \quad (2)$$

При этом μ_A , соответствующие какому-то числу от 0 до 1, характеризуют степень экспертной уверенности о том, что элемент x принадлежит множеству A .

Нечеткая переменная определяется как кортеж – $\langle \alpha, X, A \rangle$, где α – это название нечёткой переменной. Лингвистическая переменная также определяется как кортеж [7] – $\langle \beta, T, X, G, M \rangle$, где β – название лингвистической переменной, T – множество значений (термов), каждое из которых представляет собой наименование нечеткой переменной, G – синтаксические процедуры, позволяющие генерировать из множества T новых, осмысленных в рассматриваемом контексте значений для данной лингвистической переменной (например, генерировать значение «очень высокая скорость» от значения «высокая скорость»).

M – семантическая процедура, которая позволяет поставить в соответствие каждому новому значению лингвистической переменной, получаемому с помощью процедуры G , осмысленное содержание посредством формирования соответствующего нечеткого множества. Например, при наличии нескольких условий, связанных логическим оператором «И» (пересечение ($\cap$), логическое произведение нечетких множеств), типа: **(условие 1) И (условие 2)**, в рамках процедуры M используется оператор произведения (PROD) [8]:

$$\mu_{y_1 \cap y_2}(x) = \mu_{y_1}(x) \cdot \mu_{y_2}(x), \quad (3)$$

где $\mu_{y_1}(x)$ – функции принадлежности нечеткого множества первого условия;
 $\mu_{y_2}(x)$ – функции принадлежности нечеткого множества второго условия.

При наличии нескольких условий, связанных логическим оператором «ИЛИ» (объединение ($\cup$), логическая сумма нечётких множеств), типа: **(условие 1) ИЛИ (условие 2)**, используется оператор максимума (MAX) [8]:

$$\mu_{y_1 \cup y_2}(x) = \max(\mu_{y_1}(x), \mu_{y_2}(x)). \quad (4)$$

В качестве примера сказанному можно рассмотреть такую лингвистическую переменную, как «пауза в выполнении аварийно-спасательных работ» с термами (нечеткими переменными) «малая», «средняя», «большая» и функциями принадлежности, показанными на рис. 2.

Если все функции принадлежности рассматриваемой лингвистической переменной расположить на одном графике и задать конкретное значение «паузы в выполнении аварийно-спасательных работ», равной 20 секундам (рис. 3), то видно, что это значение скорее принадлежит нечёткой переменной «малая», чем «средняя» ($0,9 > 0,2$).

Теоретические и прикладные аспекты применения теории нечетких множеств изложены в многочисленных работах [3, 7-9 и др.] и поэтому подробно рассматриваться не будут, за исключением самых общих основ, необходимых для последующего изложения специфики аппарата применительно к решаемой задаче.

Так, с учетом положений теории нечётких множеств в рамках экспертной системы для выбора рациональных технологий АСР необходимо разработать систему нечеткого вывода (СНВ). Информацию, которая подается на вход СНВ, составляют значения некоторых входных переменных. Это может быть поступающая спасателю информация из всех возможных источников – от руководителя в виде полной постановки задачи или отдельных конкретных указаний в ходе работ, личного состава своего формирования, приборов поиска пострадавших, органов чувств самого спасателя, датчиков мониторинга разведки, оптико-электронных систем БПЛА и робототехнических средств и др. Выходной информацией для СНВ будут являться рациональные варианты технологий АСР – по определению приоритетности спасения, перемещению в лаге завала разрушенного здания, развертыванию аварийно-спасательных средств, выбору инструмента и оборудования и многое другое.

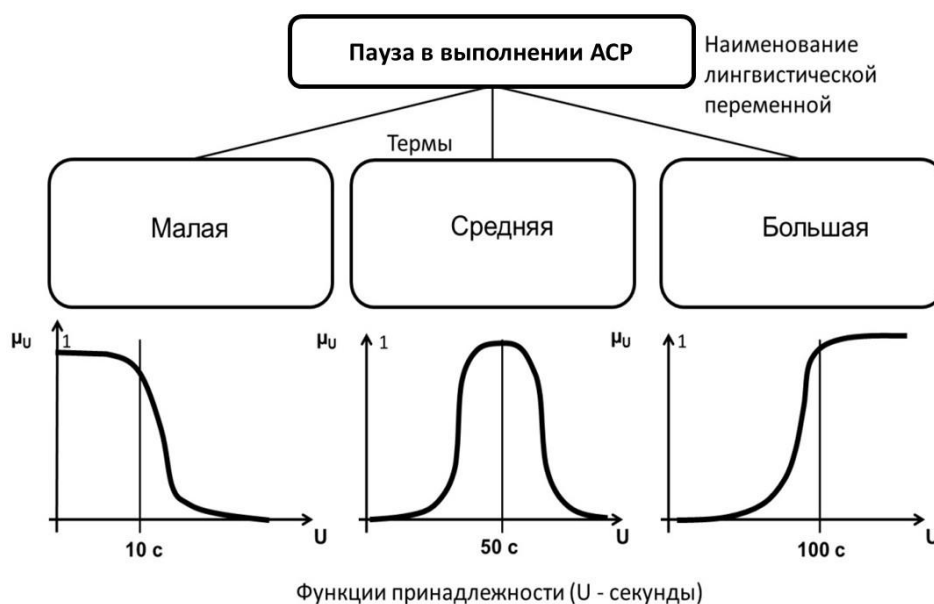


Рис. 2. Некоторые составляющие понятия «лингвистическая переменная»

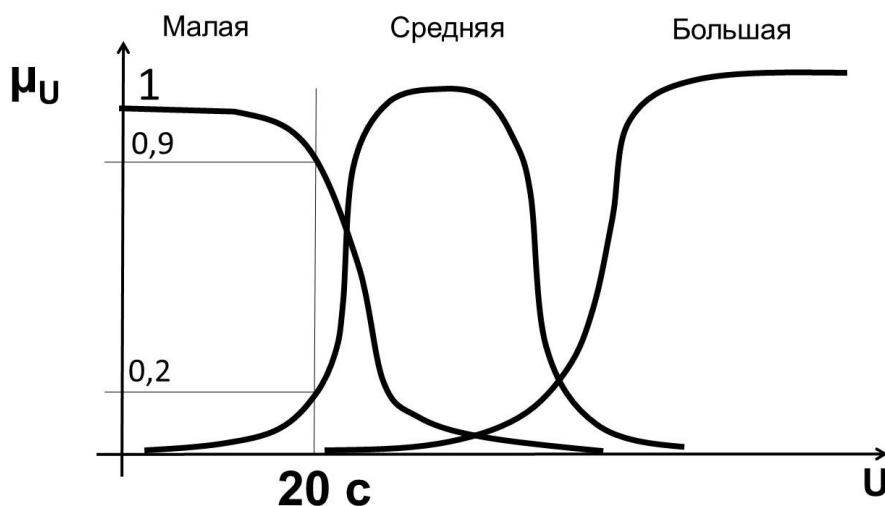


Рис. 3. Значения функции принадлежности нечетких переменных «малая» и «средняя» лингвистической переменной «пауза в выполнении аварийно-спасательных работ» при конкретном значении (20 с)

Сама СНВ будет позволять преобразовать входную информацию в выходную на основе использования нечетких правил (логических импликаций) вида:

Если (условие или антецедент) то (следствие или консеквент),

или

Если ($x=A$) то ($y=B$).

Здесь A и B – нечёткие множества, заданные своими функциями принадлежности $\mu_A(x)$, $\mu_B(x)$ и областями определения X и Y соответственно.

Нечёткая импликация (вид нечёткого отношения) задается функцией принадлежности $\mu_{A \rightarrow B}(x, y)$, область определения которой является декартовым произведением $X \times Y$ соответствующих областей условия и заключения [8]. В общем случае функция принадлежности нечёткого отношения представляет собой гиперповерхность в $(n+1)$ – мерном пространстве, где n – количество условий и заключений.

Задание правил применительно к различным ситуациям в ходе выполнения АСР необходимо осуществлять с использованием знаний, опыта и интуиции спасателей, имеющих опыт проведения аварийно-спасательных работ. Именно эта информация и будет составлять основу соответствующей базы знаний СНВ. При этом очевидно, что вариантов обстановки об объекте спасательных работ огромное (пожалуй, бессчетное) количество. Поэтому такая база знаний должна регулярно пополняться и составлять банк таких ситуаций, из которого всегда можно выбрать наиболее близкую к реальной. Выбор сходной ситуации возможно осуществлять с использованием ИНС, которые необходимо обучать на примерах из указанного банка ситуаций. Именно нейронные сети должны позволить автоматизировать этот процесс и «подгружать» более соответствующей реальной обстановке информационный фон, перестраивать параметры СНВ применительно к данной обстановке и предлагать варианты рациональных технологий АСР, сформированные с учетом баз знаний экспертов. При необходимости в СНВ могут использоваться и традиционные методы обоснования мероприятий, количественные модели операций, функционирования комплектов и систем обеспечения АСР, расчетные задачи и многое другое, широко использующееся в практике принятия решений.

Построение такой базы знаний должно иметь иерархический характер. Верхние уровни иерархии ситуаций на объектах работ должны составлять те из них, описание которых имеет самый общий характер в связи с неопределенностью информации. По мере поступления мониторинговых, разведывательных и иных данных, опроса свидетелей и очевидцев возможен переход на более низкие уровни с детальным описанием возможных ситуаций не только на объекте, но и на рабочих местах. Представляется, что указанные системы в настоящем и будущем могут быть реализованы различным образом – и на традиционных сегодня «планшетах» и на экранах шлем-масок спасательной экипировки и даже с использованием компактных сканирующих устройств в касках спасателей, позволяющих сопрягать мыслительные процессы с внешними информационными потоками.

В следующих статьях будет приведен условный пример построения такой СНВ применительно к конкретной ситуации в ходе выполнения АСР, пример обработки информации с её использованием, а также даны предложения по перспективам развития системы.

Литература

1. Дурнев Р.А., Крюков К.Ю., Жданенко И.В. Будущее искусственного интеллекта в спасательном деле. М.: Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций». - 2019. вып.1,
2. Николенко С., Кадури А., Архангельская Е. Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей. СПб: Питер. - 2018.
3. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. Пер. с англ. М.: Мир. - 1976.
4. Борисов А.Н. и др. Принятие решений на основе нечетких моделей. Рига, Изд. Зиниате. - 1990.
5. Что мы думаем о машинах, которые думают: Ведущие мировые ученые об искусственном интеллекте / Джон Брокман. Пер. с англ. М.: Альпина нон-фикшн. - 2017.
6. Потапов А. Искусственный интеллект и универсальное мышление. СПб.: Политехника. - 2012.

7. Леоненков А.В. Нечёткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб: БХВ-Петербург. - 2005.
8. А. Пегат. Нечеткое моделирование и управление. М., Изд. Бином. - 2011.
9. Штовба С.Д. Проектирование нечётких систем средствами MATLAB. М.: Горячая линия – Телеком. - 2007.

Сведения об авторах

Дурнев Роман Александрович – вице-президент ФГБУ «Российская академия ракетных и артиллерийских наук», доцент, член-корреспондент РАН, адрес учреждения: 107564, г. Москва, 1-я Мясниковская ул., дом 3, стр. 3, контактный телефон: 8 (903) 258-67-16, e-mail: rdunev@rambler.ru

Жданенко Ирина Васильевна, старший научный сотрудник ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (федеральный центр науки и высоких технологий), адрес учреждения: 121352, г. Москва, ул. Давыдовская, д. 7, контактный телефон 8 (909) 953-56-59, e-mail: izhdanenko@yandex.ru

УДК 519.8 : 51-74

DOI: 10.36535/0869-4176-2022-04-6

АЛГОРИТМЫ НЕЧЁТКОГО ВЫВОДА ДЛЯ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ СПАСЕНИЯ

Доктор техн. наук **Р.А. Дурнев**,
ФГБУ РАН

И.В. Жданенко
ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ)

Предлагаются алгоритмы нечеткого вывода, которые могут быть положены в основу экспертных систем для выбора рациональной технологии аварийно-спасательных работ (АСР). Аппаратной основой таких систем могут являться нечёткие процессоры, связанные с различными источниками информации, и позволяющие в каждый момент времени выдавать данные для поддержки принятия решений на выполнение АСР.

Ключевые слова: аварийно-спасательные работы, завал разрушенного здания, разборка завала, устройство лаза, алгоритмы нечёткого вывода, экспертная система.

FUZZY INFERENCE ALGORITHMS FOR SELECTION RATIONAL RESCUE TECHNOLOGY

Dr. (Tech.) *R.A. Durnev*
FGBU RARAN

I.V. Zhdanenko
FC VNII GOCHS EMERCOM of Russia

Fuzzy inference algorithms are proposed, which can be used as the basis of expert systems for choosing a rational technology of emergency rescue operations (ASR). The hardware basis of such systems may be fuzzy processors associated with various sources of information, and allowing at any given time to issue data to support decision-making for the implementation of ASR.

Keywords: emergency rescue operations, rubble of a destroyed building, disassembly of a blockage, manhole device, fuzzy inference algorithms, expert system.

В предыдущей статье [1] был предложен подход к созданию технологии искусственного интеллекта для выбора рациональной технологии АСР. Основу данного подхода должны составлять алгоритмы нечеткого вывода, предназначенные для выбора указанных действий в зависимости от ситуации на объекте работ, рабочем месте. Кроме того, необходимо применять искусственные нейросети, позволяющие осуществлять поиск в банке данных таких ситуаций, которые наиболее близки к реальным. В настоящей статье представлены алгоритмы нечеткого вывода, которые могут быть положены в основу экспертных систем для выбора рациональной технологии (приема, способа) аварийно-спасательных работ в завале разрушенного здания.

На рис. 1 приведена схема обстановки на рабочем месте, которая может сложиться в ходе выполнения аварийно-спасательных работ по извлечению пострадавшего из завала.



Рис. 1. Схема условной обстановки на рабочем месте по извлечению пострадавшего из завала

Данная ситуация характеризуется следующими не вполне определенными параметрами: по свидетельствам очевидцев (жильцов, соседей) пострадавший, по всей видимости, находится глубоко в теле завала, т.к. до обрушения здания он располагался на первом этаже. Возможно, состояние пострадавшего средней тяжести;

завал представляет собой хаотичное нагромождение обломков строительных конструкций крупнопанельного многоэтажного здания. Многие обломки скреплены между собой арматурными связями, другие пребывают в неустойчивом состоянии;

существует опасения в возникновении пожаров, тлений и задымлений в завале. Кроме того, в ночные часы возможно возникновение заморозков;

необходимо выбрать один из способов извлечения пострадавшего из завала – устройство лаза в завале, устройство галереи под завалом, сплошная разборка завала.

Для устройства лаза в завале характерны следующие особенности:

устройство лаза занимает длительное время, при этом риск возникновения подвижки элементов завала высок для спасателя (до устройства им крепи свода лаза) и незначителен для пострадавшего (после устройства спасателем крепи);

если пострадавший не будет подавать сигналов, определение его местонахождения будет затруднено.

Устройство галереи под завалом характеризуется следующими обстоятельствами:

для данного способа необходимо проведение земляных работ, устройство крепей в галереи, для этого вызвана специальная техника;

возможно, потребуется пробивка проема в перекрытии подвала;

местонахождение пострадавшего на момент принятия решения известно приблизительно.

Сплошная разборка завала занимает минимальное время, по сравнению с другими способами, но при этом высока вероятность возникновения подвижки элементов завала и дополнительного травмирования пострадавшего.

Очевидно, что описание обстановки на рабочем месте содержит практически весь набор неопределенностей, изложенных в предыдущей статье:

местонахождение пострадавшего возможно определить только из описания очевидцев, конкретное состояние пострадавшего не известно (наличие шокового состояния, кровотечений и т.п.);

специальная техника для выполнения земляных работ передвигается в зоне разрушения, время её прибытия окончательно не известно;

обломки строительных конструкций располагаются в завале хаотично, возможно нахождение крупных железобетонных элементов, связанных арматурой;

вероятно возникновение возгораний, тлений в завале и отравления пострадавшего продуктами горения и т.п.

Исходя из опыта спасателей, их осведомленности о сложившейся обстановке на рабочем месте и объекте работ в целом, а также поступающих данных разведки, сигналов от пострадавшего и т.п., возможно определить следующие критерии выбора способов его извлечения:

для устройства лаза в завале - местоположение пострадавшего уточняется в процессе работ (способен подавать сигналы), состояние его легкой или средней степени тяжести, тления и горения в завале отсутствуют, температура окружающего воздуха положительная, крупные обломки на пути устройства лаза отсутствуют;

для устройства галереи - местоположение пострадавшего достаточно точно определено, состояние его легкой или средней степени тяжести, тления и горения в завале отсутствуют, температура окружающего воздуха положительная, специальная техника вблизи объекта работ присутствует;

для сплошной разборки завала - местоположение пострадавшего не известно, состояние пострадавшего тяжелое или крайне тяжелое, появились признаки тления в завале, есть небольшая задымленность, температура окружающего воздуха приближается к нулевой отметке, прибытия специальной техники в ближайшее время не ожидается.

Рассмотренное крайне неопределенное описание обстановки на рабочем месте можно формализовать с помощью системы нечеткого вывода. Далее будут описываться основные этапы использования СНВ [2] применительно к вышеуказанному примеру:

1 этап – формирование базы правил.

База правил предназначена для формального представления эмпирических знаний в предметной области, в нашем случае – применительно к рассматриваемой обстановке на рабочем месте. Каждое из правил имеет вид:

Правило_n: ЕСЛИ Условие_n ТО заключение_n (F_n - вес правила).

Условия и заключения в правило сформулированы в виде названий нечетких переменных. Если вес (важность) правила не указан, он принимается равным единице.

Для выбора способа устройства лаза в завале в соответствии с вышеприведенным критерием возможно записать такое правило:

Правило_i: ЕСЛИ «температура окружающего воздуха» = «приемлемая» ТО «пригодность способа устройства лаза» = «средняя».

Данное правило отражает суждение эксперта о том, что в условиях положительных температур время выживания пострадавшего увеличивается. Но окончательной уверенности в том, что нужно реализовывать способ устройства лаза, пока нет (иначе заключение «пригодность способа устройства лаза» приняло значение «высокая»), т.к. если время извлечения пострадавшего затянется до глубокой ночи, температура может принять отрицательные значения.

В этом правиле участвует входная и выходная нечеткие переменные, функции принадлежности которых могут быть представлены с незначительной потерей точности в «линейно-кусочном» образе [3], в виде треугольных или трапециевидальных функций (рис. 2).

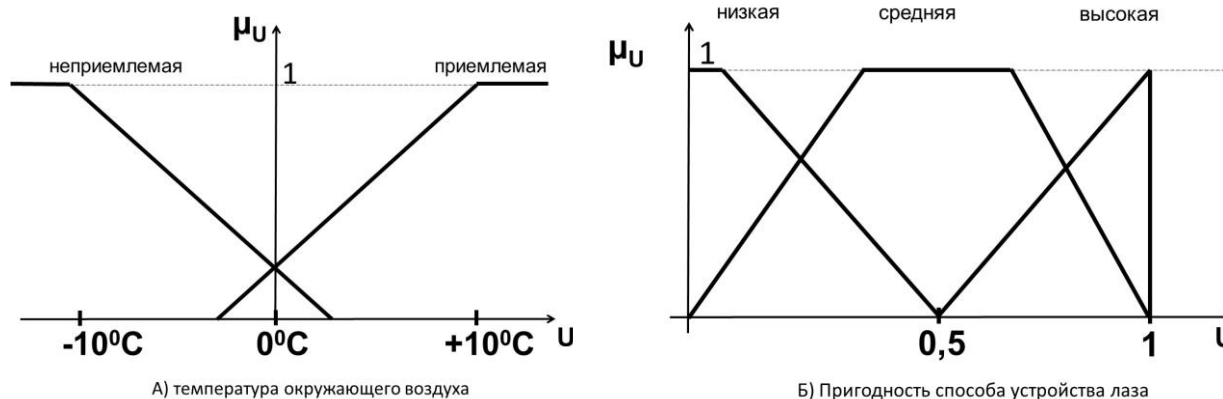


Рис. 2. Функции принадлежности входной (А) и выходной (Б) нечетких переменных

Выходная переменная «пригодность способа устройства лаза» принимает значения (степень экспертной уверенности) от 0 (абсолютно непригоден) до 1 (абсолютно пригоден).

Еще одним правилом (в соответствии с критерием) для выбора может быть следующее:

Правило_j: ЕСЛИ «размеры обломков в лазе» = «незначительные» ТО «пригодность способа устройства лаза» = «средняя».

Нечёткая переменная «размеры обломков в лазе» отражает габариты, в основном, железобетонных элементов завала и может быть представлена следующей функцией принадлежности (рис. 3).

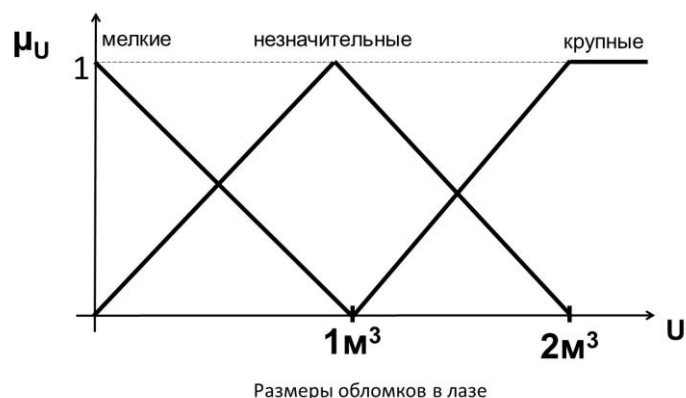


Рис. 3. Функция принадлежности нечёткой переменной "Размеры обломков в лазе"

Группа рассматриваемых правил может выглядеть следующим образом:

Правило_1: ЕСЛИ «температура окружающего воздуха» = «неприемлемая» ТО «пригодность способа устройства лаза» = «низкая».

Правило_2: ЕСЛИ «температура окружающего воздуха» = «приемлемая» ТО «пригодность способа устройства лаза» = «средняя».

Правило_3: ЕСЛИ «размеры обломков в лазе» = «мелкие» ТО «пригодность способа устройства лаза» = «высокая».

Правило_4: ЕСЛИ «размеры обломков в лазе» = «незначительные» ТО «пригодность способа устройства лаза» = «средняя».

Правило_5: ЕСЛИ «размеры обломков в лазе» = «крупные» ТО «пригодность способа устройства лаза» = «низкая».

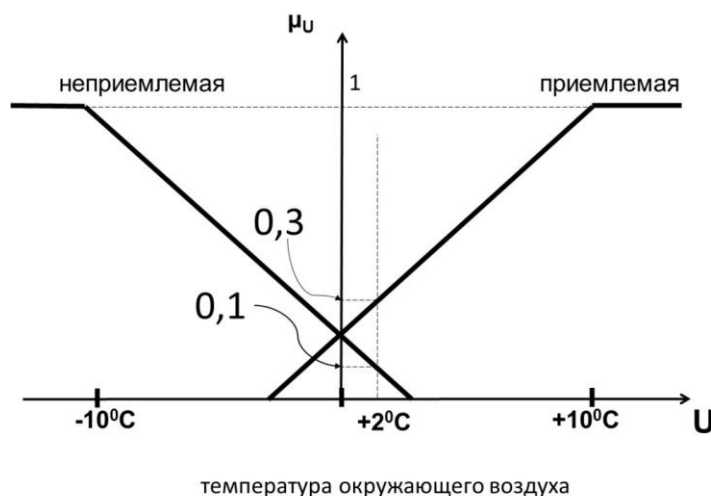


Рис. 4. Значения функций принадлежности термов «неприемлемая» и «приемлемая» при значении входной переменной «температура окружающего воздуха», равном 2°C

2 этап - фаззификация.

Под фаззификацией понимается установление соответствия между конкретным числовым значением входной переменной и значением функции принадлежности соответствующего терма лингвистической переменной (рис. 4). Если, например, принять числовое значение такой входной переменной, как «температура окружающего воздуха» равное 2°C , то значения функции принадлежности будут равны 0,3 (для терма «приемлемая») и 0,1 (для терма «неприемлемая»).

После завершения этого этапа для всех входных переменных должны быть определены конкретные значения функции принадлежности по каждому из лингвистических термов, которые используются в условиях базы правил СНВ [2-6].

3 этап - агрегирование условий.

В рамках агрегирования определяется степень истинности условий по каждому из правил. Данный этап выполняется тогда, когда условия правил имеют сложный составной вид с использованием логических конъюнкций (И) или дизъюнкций (ИЛИ), например, при объединении условий правил 2 и 4 в виде:

ЕСЛИ "температура окружающего воздуха"="приемлемая" И "размеры обломков в лазе"="незначительные" ТО "пригодность способа устройства лаза"="средняя".

4 этап - активизация заключений.

При активизации заключений осуществляется определение степени истинности по каждому из заключений правил. Для этого применяются различные методы нечеткой композиции (min-активизация, prod-активизация и др.), приведенные в [2-6]. Этап активизации считается законченным, когда для каждой из выходных лингвистических переменных, входящих в отдельные заключения правил, будут определены функции принадлежности нечетких множеств их значений.

Для правила 1:

**ЕСЛИ «температура окружающего воздуха»= «неприемлемая» ТО
«пригодность способа устройства лаза»= «низкая»**

графический вид этой операция применительно к «температуре окружающего воздуха», равной 2°C , показан на рис. 5:

Для правила 2 графический вид показан на рис. 6:

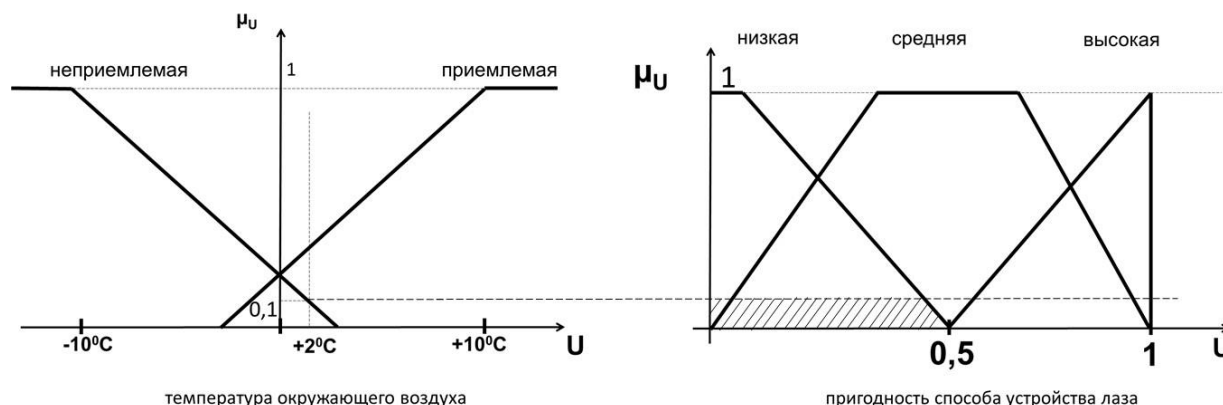


Рис. 5. Графический вид активизации заключения правила 1

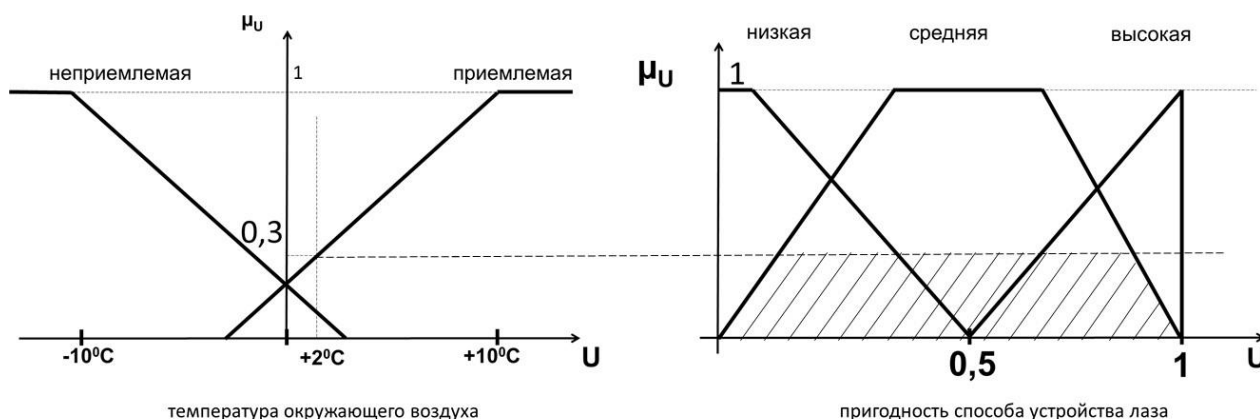


Рис. 6. Графический вид активизации заключения правила 2

5 этап - аккумулярование заключений.

Аккумулярование заключений представляет собой процедуру нахождения функции принадлежности для каждой из выходных лингвистических переменных. Цель аккумулярования заключается в том, чтобы объединить (аккумуляировать) все степени истинности заключений (принадлежащих различным правилам) для получения функции принадлежности каждой из выходных переменных. Для этого используются операции объединения, алгебраического объединения и др. [2-6].

Графический вид аккумуляции выходной переменной «пригодность способа устройства лаза» для правил 1 и 2 показан на рис. 7.



Рис. 7. Графический вид аккумулярования выходной переменной «пригодность способа устройства лаза» для правил 1 и 2

6 этап - дефаззификация.

Под дефаззификацией понимается процедура нахождения обычного (не нечеткого) значения для каждой из выходных лингвистических переменных. Цель дефаззификации заключается в том, чтобы используя результаты аккумуляции всех выходных лингвистических переменных получить обычное количественное значение каждой из выходных переменных.

Для установления конкретного значения функции принадлежности переменной «пригодность 1-го маршрута» необходимо найти такое u^* , которое наиболее рационально представляло бы это нечёткое множество. Из большого количества методов, позволяющих определить указанное значение (среднего максимума, первого максимума, центра сумм, высот и др. [2-6]), в рассматриваемой СНВ может использоваться метод центра тяжести, обеспечивающий более высокую чувствительность к изменению входных значений. Для этого рассчитывается координата центра тяжести фигуры (трапеции под линией на рис. 7), как отношение момента трапеции под линией относительно вертикальной оси μ к площади этой фигуры (рис. 8):

$$u^* = \frac{\int u \cdot \mu_{\text{тран.}}(u) du}{\int \mu_{\text{тран.}}(u) du}, \quad (1)$$

где $\mu_{\text{тран.}}(u)$ - кривая, ограничивающая трапецию на рис.7.

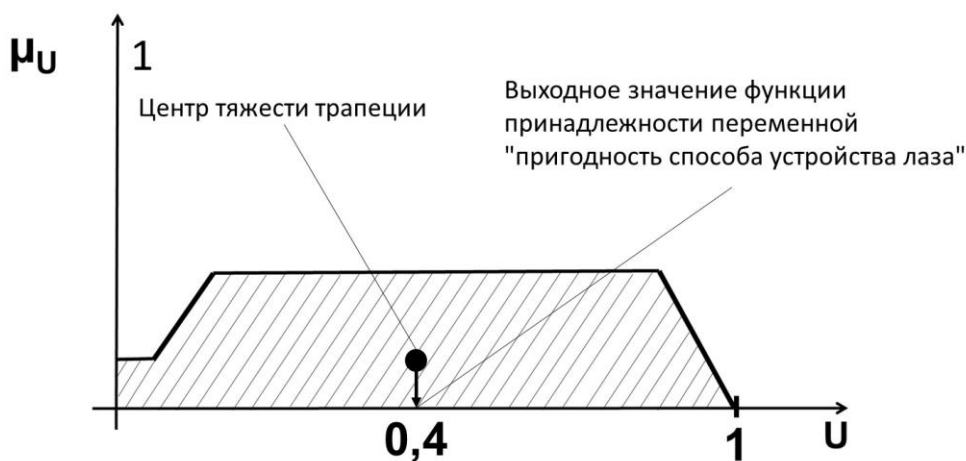


Рис. 8. Графический вид дефаззификации выходной переменной «пригодность способа устройства лаза»

В связи со сказанным, при значении входной переменной «температура окружающего воздуха», равном 2°C , степень пригодности способа устройства лаза составляет 0,4 (40%).

Таким образом, представленные алгоритмы могут быть положены в основу СНВ (в дальнейшем - экспертных систем) для выбора рациональной технологии (приема, способа) аварийно-спасательных работ в завале разрушенного здания. С использованием нечётких процессоров, которые могут быть связаны с различными источниками информации (датчиками на БПЛА, приборами мониторинга и разведки, радиостанциями, геоинформационными системами, устройствами сканирования мозговой активности спасателей и т.п.), поступающая информация непрерывно перерабатывается и в каждый момент времени выдаются данные, позволяющие выбрать рациональные технологии АСР. Применительно к рассматриваемому примеру это могут быть степени пригодности способов устройства лаза, галереи или сплошной разборки завала. Изменение этих величин будет происходить во времени с учетом поступающей противоречивой, неопределенной, зачастую качественной информации.

В следующей статье будет показано совместное использование всей системы правил, приведенных в данной статье, и даны предложения по этапам развития экспертных систем для рациональных технологий АСР.

Литература

1. Дурнев Р.А., Жданенко И.В. «Методический подход к созданию экспертных систем для выбора рациональной технологии спасения». М.: Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций». 2022. №4.
2. Леоненков А.В. Нечёткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб: БХВ-Петербург. - 2005.
3. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. М., Изд. Бином. - 2011.
4. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. Пер. с англ. М.: Мир. - 1976.
5. Борисов А.Н. и др. Принятие решений на основе нечетких моделей. Рига, Изд. Зиниате. - 1990.
6. Штовба С.Д. Проектирование нечётких систем средствами MATLAB. М.: Горячая линия – Телеком. - 2007.

Сведения об авторах

Дурнев Роман Александрович, – вице-президент ФГБУ «Российская академия ракетных и артиллерийских наук», доцент, член-корреспондент РАН, адрес учреждения: 107564, г. Москва, 1-я Мясниковская ул., дом 3, стр. 3, контактный телефон: 8 (903) 258-67-16, e-mail: rdunev@rambler.ru

Жданенко Ирина Васильевна, – старший научный сотрудник ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (федеральный центр науки и высоких технологий), адрес учреждения: 121352, г. Москва, ул. Давыдовская, д.7, контактный телефон 8 (909) 953-56-59, e-mail: izhdanenko@yandex.ru

УДК 351.861

DOI: 10.36535/0869-4176-2022-04-7

ОСОБЕННОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ПОСЛЕДСТВИЯ ЦУНАМИ В 2021 -2022 ГОДАХ

Кандидат техн. наук *С.Н. Нехорошев*,
доктор сельхоз. наук, кандидат техн. наук *Ю.В. Подрезов*, *А.С. Романов*
ФБГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ)

З.В. Тимошенко
ВИНИТИ РАН

Впервые выполнен анализ особенностей возникновения и последствий цунами в мировом океане в период с 2021 года по апрель 2022 года. Необходимо заметить, что материалы данной статьи будут полезны для развития и совершенствования информационного и методического обеспечения автоматизированной информационно-управляющей системы единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в интересах предотвращения цунами и смягчения их последствий.

Ключевые слова: ветер; землетрясение; земная кора; метеоритная опасность; опасные погодные процессы; ущерб; цунами.

FEATURES OF THE ORIGIN AND CONSEQUENCES OF THE TSUNAMI IN 2021-2022

Ph.D. (Tech.) *S.N. Nekhoroshev*,
Dr. of agricultural sciences, Ph.D (Tech) *J.V. Podrezov*, *A.S. Romanov*
VNII GOCHS EMERCOM of Russia

Z.V. Timoshenko
VINITI RAS

The article for the first time analyzes the features of the occurrence and consequences of a tsunami in the world ocean in the period from 2021 to April 2022. It should be noted that the materials of this article will be useful for the development and improvement of information and methodological support for the automated information and control system of the unified state system for the prevention and elimination of emergencies in the interests of preventing tsunamis and mitigating their consequences.

Keywords: wind; earthquake; earth's crust; meteor hazard; dangerous weather processes; damage; tsunami.

Изложенные в данной статье аналитические материалы, выполненного анализа особенностей возникновения и последствий цунами в различных районах мирового океана за истекший период с 2021 года по апрель 2022 года, будут достаточно полезными и их целесообразно использовать для развития и совершенствования информационного и методического

обеспечения автоматизированной информационно-управляющей системы единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (далее - АИУС РСЧС) в интересах предотвращения цунами, а также смягчения их последствий.

Уточним, что выполненный анализ специальной литературы свидетельствует о том, что цунами, с физической точки зрения, представляют собой длинные волны, которые возникают вследствие мощного воздействия на всю толщу воды в океане, либо в любом водоёме [1-9].

Уточним, вначале статьи некоторые физические особенности и причины возникновения, развития и последствий цунами.

Начнем с причин цунами. Анализ специальной литературы свидетельствует, что основных причин – несколько. К ним относятся: подводные землетрясения; оползни; ледники; метеориты; а также взрывы различных подводных ядерных устройств и иные разрушения ниже или выше ровня воды [1-4].

Прежде всего, необходимо сказать о подводных землетрясениях, которые являются причиной почти восьмидесяти пяти процентов цунами. При таких землетрясениях происходит резкое опускание или подъем участка дна моря и образование цунами.

В двадцать первом веке чаще, чем в двадцатом веке, в качестве причины цунами стали считать оползни, обрушивающиеся с больших высот в несколько сот метров. Именно они являются причиной больших цунами порой с высотой волны в несколько сот метров. Такие случаи очень редки и происходят в океанах и морях. Но значительно чаще подводные оползни, приводящие к опасным цунами, наблюдаются на реках (как правило, в их дельтах).

Следующая причина цунами, составляющая почти пять процентов от всего их количества, это извержения вулканов, дающие тот же эффект, как и землетрясения. В качестве яркого исторического примера целесообразно вспомнить цунами, сформировавшееся в результате извержения в 1883 году вулкана Кракатау. Тогда мощные цунами от извержения вулкана были зафиксированы практически в гаванях почти всего мира. Было затоплено всего пять тысяч морских и океанских судов и погибло тридцать шесть тысяч человек [1].

В наше время – время, когда достаточно широко используется энергия атома, возможно осуществление и неоднократно испытывалось ядерное оружие и проводились подводные взрывы водородных бомб в военных целях. При этом образуются волны цунами в несколько десятков метров. Это, так называемые искусственные цунами. Но, специалисты пришли к выводу о том, что образующиеся волны от любых подводных взрывов, а также от подводных оползней всегда имеют исключительно локальный характер.

Еще одной причиной цунами может стать падение крупного метеорита, когда его диаметр достигает сотни метров и более, что может сформировать очень высокую волну. Но, такая круговая волна от точечного источника, очень быстро потеряет свою энергию и, вероятнее всего, суше не нанесет заметного вреда. Следует заметить, что по мнению многих ученых и специалистов, цунами, вызванное падением крупного метеорита может оказаться опасным тогда, когда метеорит упадет вблизи береговой линии - в пределах десяти - двадцати километров.

Каждое цунами имеет ряд и общих признаков его приближения. К одному из таких признаков относят достаточно внезапный и быстрый отход воды от береговой линии (на большое расстояние) и, так называемая, осушка дна. При этом, чем дальше отступает море, тем выше может оказаться волна цунами. Такая закономерность, как свидетельствуют результаты статистических наблюдений, характерна для Камчатки, Индоокеанского побережья Индонезии и Японии. Следует отметить, что особенностью телецунами (одного из видов цунами) является то, что волна цунами, как правило, подходит без отступления воды [1, 3, 4].

Поскольку предотвратить, в большинстве случаев, цунами нельзя, за исключением, может быть тех, которые вызываются ядерными взрывами, для смягчения последствий цунами существуют системы предупреждения, которые функционируют, в основном, посредством обработки сейсмической информации. Важнейшая задача таких систем состоит

в своевременном доведении мониторинговой информации о предстоящей опасности до населения. Следует отметить, что в нашей стране создана и функционирует система прогнозирования цунами, которая позволяет рассчитывать времена подхода большой воды к побережью, чтобы обеспечить население временем на эвакуацию.

Необходимо отметить, что цунами могут наносить огромный ущерб прибрежным государствам, до которых докатываются их поражающие факторы, а также приводить к гибели многих людей. Так, сильнейшее землетрясение, произошедшее двадцать шестого декабря 2004 года в Индийском океане, с магнитудой 9,3 балла - в истории наблюдений второе по мощности - инициировало самое смертоносное цунами из всех известных. Волны этого цунами обрушились на такие страны Азии, как Индонезия, где пострадало сто восемьдесят тысяч человек, Шри-Ланка – пострадала тридцать одна – тридцать девять тысяч человек, Таиланд – с числом пострадавших более пяти тысяч человек и ряд других стран. А, количество погибших, в целом, превысило двести тридцать пять тысяч человек [1].

Далее рассмотрим обстановку с цунами за истекший период - с начала 2021 года по апрель 2022 года.

На основе анализа статистических данных в 2021 году официально было зафиксировано на Земле шесть предупреждений о цунами, но цунами произошло только два. При этом одно из них сейсмологи считают загадочным, но на этом остановимся позже в данной статье.

Так, 24 января 2021 года у берегов Чили наблюдалось землетрясение с магнитудой в семь баллов. Была объявлена угроза цунами для чилийской антарктической территории, что привело к эвакуации с чилийских антарктических баз ста шестидесяти человек. На пяти иностранных базах, располагающихся неподалеку, была также проведена эвакуация. Следует, также, сказать о том, что российские полярники, работавшие на полярной станции «Беллинсгаузен» в это время, не эвакуировались и не пострадали [9].

20 марта 2021 г. главное метеорологическое агентство Японии давало сообщение об угрозе цунами - после землетрясения на северо-востоке Японии с магнитудой 7,2 балла. Однако, вскоре оно было снято [9].

Геологическая служба США 29 июля 2021 года зарегистрировала не большое цунами (рис.1), причиной которого было землетрясение с магнитудой 8,2 балла, произошедшее к юго-востоку от поселения Чингик штата Аляска. При этом, его очаг находился в девяносто семи километрах от поселения и залегал на глубине более семнадцати километров. Позже, Геологической службой США угроза цунами была снята для ряда районов на Тихоокеанском побережье [9].

Американский центр по предупреждению о цунами (NWS) на своем сайте 14 августа 2021 года сообщил об угрозе цунами после землетрясения с магнитудой 7,2 у побережья Гаити. Однако, позже предупреждение было снято [9].

Следует далее сказать и о «таинственном» цунами 2021 года. Сейсмологи не так давно наконец – то раскрыли источник этого загадочного цунами, которое возникло «из ниоткуда» в августе 2021 года (рис. 2). Оно началось в Южной Атлантике и промчалось по трём океанам: Атлантическому, Тихому и Индийскому. Позже учёные установили источник этого таинственного цунами. По данным сейсмографов ученые США зафиксировали признаки «скрытого» землетрясения, которому вначале не придали значения. Магнитуда его составила 7,5 баллов. Оно и породило мощное цунами [9].

А, необычность этого цунами заключается в том, что, во-первых, эпицентр землетрясения находился на большой глубине (сорок семь километров) и считалось, что при такой глубине оно не должно порождать цунами. Во-вторых, было установлено, что в этом месте длина геологического разрыва имела размер около четырехсот метров и должно было инициировать значительно более сильное землетрясение. Однако, в результате дополнительного исследования было установлено то, что землетрясение представляло собой не единичное событие, а являлось серией из пяти субземлетрясений, которые растянулись на

несколько минут. И, именно, третье субземлетрясение, имевшее магнитуду 8,2 балла, было более медленным, и произошло оно не глубоко – в пятнадцати километрах от поверхности. По предположению сейсмологов, вероятнее всего, именно это редкое «скрытое» землетрясение и явилось причиной возникшего глобального цунами, которое штурмовало побережья нескольких стран на удалении до десяти тысяч километров от места своего возникновения [9].



Рис. 1. Цунами, произошедшее 29 июля 2021 года к юго-востоку от поселения Чингик штата Аляска в США

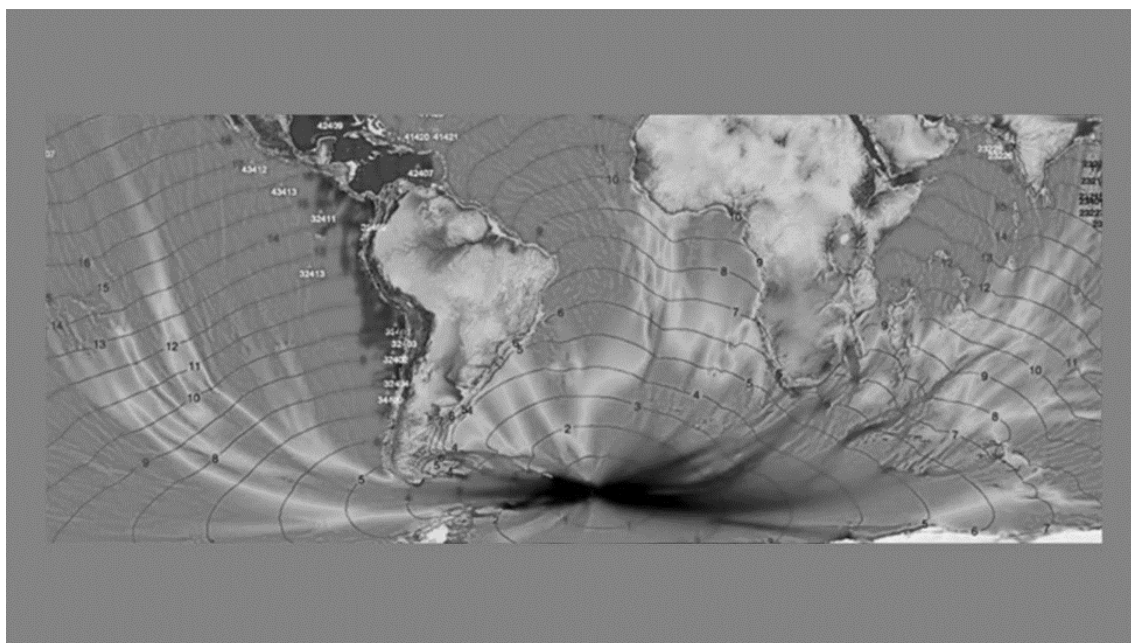


Рис. 2. «Таинственное» цунами в августе 2021 года промчалось по трём океанам: Атлантическому, Тихому и Индийскому



Рис. 3. Последствия цунами, наблюдавшегося 16 января 2022 года у берегов Японии



Рис. 4. Результат обрушения огромных волн цунами 16 января 2022 года на побережье Калифорнии

В следующем 2022 году уже 15 января Центром цунами ФБГУ «Сахалинского УГМС» была объявлена угроза цунами не только на территории России - на Курилах, но и в Японии. Его причиной могло стать извержение подводного вулкана у островов Тонга. Но волна цунами на Камчатском побережье прогнозировалась небольшой - приблизительно 0,2 метра, в то время как на побережье Японии несколько больше - 0,3 метра [9].

16 января цунами, вызванное извержением в Тихом океане у берегов Королевства Тонга того же подводного вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай привело к тому, что не менее двухсот тысяч японцев от своих местных властей получили предписание на эвакуацию из-за угрозы цунами в связи с тем, что его трехметровые волны могли обрушиться

на ряд юго-западных островов Японии и северо-восточную префектуру Иватэ. Из-за этого цунами в Японии пострадали около двадцати судов, что хорошо видно на рис.3 [9].

Огромные волны рассматриваемого цунами также 16 января существенно накрыли и береговую зону штата Калифорния в США (рис. 4) [9].

В эту же дату (16 января) волны того же цунами достигли и побережья Чили, власти, которого закрыли пляжи в ряде регионов страны, где был объявлен Красный уровень тревоги (рис. 5) [9].

И, наконец, 16 марта 2022 года сильное землетрясение с магнитудой 7,3 балла произошло на северо-востоке Японии, поэтому жители Токио и двух префектур - Мияги и Фукусима - были предупреждены о возможном цунами с высотой волн около одного метра (рис. 6) [9].



Рис. 5. Закрытые пляжи в Чили, из-за угрозы цунами (16 января 2022 года)



Рис. 6. Сильное землетрясение 16 марта 2022 года на северо-востоке Японии с угрозой цунами

Таким образом, по результатам анализа основных особенностей возникновения и последствий цунами в различных районах мирового океана за истекший период с 2021 года по апрель 2022 года, можно сделать вывод о том, что указанный период характеризовался достаточно большим количеством угроз цунами, которые могли бы нанести серьезный ущерб ряду стран, но этого не случилось – ущерб был, но небольшой. При этом, российские территории почти не пострадали по всему океаническому и морскому побережью. Результаты выполненного анализа целесообразно использовать для развития и совершенствования информационного и других видов обеспечения АИУС РСЧС, прежде всего, для учета статистических данных, а также в интересах предотвращения цунами и смягчения их последствий в случае возникновения.

Литература

1. Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Цунами: предупреждение и защита / МЧС России. — М. - 2006. — 264 с.
2. Левин Б.В., Носов М.А. Физика цунами и родственных явлений в океане. — М.: Янус-К. - 2005. — 360 с.
3. Агеев С.В., Подрезов Ю.В., Романов А.С., Тимошенко З.В. Особенности возникновения, развития и последствия цунами. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций». - 2018, № 5
4. Подрезов Ю.В. Основные особенности формирования погодных процессов в атмосфере Земли». Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций». – 2015, № 5
5. Подрезов Ю.В. Особенности обеспечения безопасной эксплуатации авиации в неблагоприятных погодных условиях с использованием способов и средств активных воздействий на атмосферные процессы. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций». - 2016, № 5
6. Подрезов Ю.В. Современные оценки физической сущности и особенностей возникновения и развития вихревых процессов в атмосфере Земли. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций». - 2019, № 6
7. Подрезов Ю.В., Ермаков С.Г. Современные особенности защиты населения и территорий. Журнал «Технологии гражданской безопасности». – 2020, № 2
8. Подрезов Ю.В., Ермаков С.Г. Новые методические подходы к защите населения и территорий. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций». - 2020, № 4
9. <https://iz.ru/1115539/2021-01-24/antarkticheskie-bazy-chili-evakuirovali-posle-zemletriaseniia>.

Сведения об авторах

Нехорошев Сергей Николаевич, старший научный сотрудник, начальник научно-исследовательского центра федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайным ситуациям МЧС России» (федеральный центр науки и высоких технологий) (ФГБУ ВНИИ ГЧС (ФЦ)); тел.: 8-903-171-62-33; e-mail: nsergn@rambler.ru

Подрезов Юрий Викторович, доцент, главный научный сотрудник ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ); Москва, ул. Давыдовская, д.7, тел. (495) 449 90 25, заместитель заведующего кафедрой Московского физико-технического института (государственного университета). 8-903-573-44-84, 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

Тимошенко Зинаида Владимировна - научный сотрудник ВИНТИ РАН, 125190 ул. Усиевича, 20, тел. 8 (499) 155-44-26, e-mail: tranbez@viniti.ru

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОЦЕНКИ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ДИНАМИКУ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ ЛЕСОПОЖАРНЫХ СИТУАЦИЙ

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

Впервые выполнен анализ методических особенностей определения и оценки факторов, влияющих на динамику чрезвычайных лесопожарных ситуаций, а также на математическое моделирование и прогнозирование динамики таких чрезвычайных ситуаций. Результаты данного анализа целесообразно использовать в интересах совершенствования и развития методического и информационного обеспечения автоматизированной информационно-управляющей системы единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в целях развития системы информационно-аналитической поддержки управленческих решений по борьбе с чрезвычайными лесопожарными ситуациями.

Ключевые слова: древостой; лес; лесная площадь; лесной пожар; лесопожарная обстановка; метеоусловия; чрезвычайная лесопожарная ситуация.

METHODOLOGICAL FEATURES OF THE DETERMINATION AND EVALUATION OF FACTORS AFFECTING THE DYNAMICS OF EMERGENCY FOREST FIRE SITUATIONS

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

The article for the first time analyzes the methodological features of determining and evaluating factors that affect the dynamics of emergency forest fire situations, as well as mathematical modeling and forecasting the dynamics of such emergency situations. It is advisable to use the results of this analysis in the interests of improving and developing the methodological and information support of the automated information and control system of the unified state system for the prevention and elimination of emergency situations in order to develop a system of information and analytical support for management decisions to combat emergency forest fire situations.

Keywords: stand; Forest; forest area; forest fire; forest fire situation; weather conditions; fire emergency.

Прежде всего, целесообразно отметить, что результаты выполненного анализа методических особенностей определения и оценки факторов, влияющих на динамику чрезвычайных лесопожарных ситуаций (далее – ЧЛС), и изложенные методические материалы рекомендуется всесторонне применять для совершенствования и развития методического и информационного обеспечения функционирующей автоматизированной информационно-управляющей системы единой государственной системы предупреждения и ликвидации

чрезвычайных ситуаций (далее – АИУС РСЧС) в целях развития системы информационно-аналитической поддержки управленческих решений по борьбе с ЧЛС.

Прежде всего, необходимо отметить, что ЧЛС имеют своим источником лесной пожар (далее – ЛП) или лесные пожары.

К числу факторов, влияющих на динамику ЧЛС следует отнести группы факторов, связанных и определяемых: погодой; лесорастительными условиями; рельефом местности; а также особенностями борьбы с ЛП - источниками ЧЛС.

В начале статьи выполним, что методически важно, анализ совокупности факторов, влияющих на возникновение и динамику ЛП, в том числе источников ЧЛС и их показателей.

Результаты анализа практики борьбы с лесными пожарами и теоретических положений, изложенных в многочисленной лесопирологической литературе позволяют сделать заключение о том, что возникновение и развитие лесных пожаров определяются рядом факторов разнородной природы, с физической точки зрения [1-8].

К числу таких факторов следует отнести совокупность погодных условий. Сюда относятся факторы, влияющие на готовность лесного горючего материала (далее – ЛГМ) к возгоранию и поддержанию процесса горения, а, следовательно, и развитию пожара. Это прежде всего, влажность ЛГМ, которая в период лесопожарного сезона во многом определяется наличием осадков (как правило, в виде дождя) над рассматриваемыми участками лесной площади; количеством осадков, а также временем, которое прошло после их выпадения. Как известно, влажный ЛГМ, в естественных условиях, как правило, не воспламеняется и не поддерживает процесс горения, поэтому его влажность имеет большое значение для появления источника ЧЛС – лесного пожара и его развития в ЧЛС. При этом, влажность ЛГМ существенно зависит от количества выпавших осадков, которое, в свою очередь, зависит от интенсивности выпадения дождя и его продолжительности. Время, прошедшее после дождя, также заметно влияет на влажность ЛГМ и показывает на сколько подсох горючий материал в лесу после дождя, то есть на сколько уменьшилась его влажность и увеличилась готовность к воспламенению и поддержанию процесса горения и, соответственно, развитию ЛП.

В ходе многолетних исследований отечественный ученый Нестеров предложил и обосновал показатель, характеризующий готовность ЛГМ к воспламенению и поддержанию горения, который впоследствии назвали его именем. Данный показатель учитывает влажность ЛГМ; время, прошедшее после последнего дождя; точку росы. Им же разработан и широко применяется сегодня на практике критерий Нестерова по которому классифицируют степень пожарной опасности метеоусловий, над рассматриваемым лесными участками. Данный критерий официально применяется Росгидрометом и Рослесхозом для характеристики погодных условий на предмет их пожароопасности в практической деятельности и при проведении научных исследований, а также он нормативно закреплён в соответствующих ведомственных документах.

Кроме перечисленных выше метеоусловий, на возникновение и динамику ЛП – источников ЧЛС существенным образом влияет скорость и направление ветра. Скорость ветра определяет скорость продвижения кромки ЛП во всех направлениях, а направление ветра показывает куда продвигается, прежде всего, фронтальная кромка пожара. Именно кромка по фронту пожара, ее продвижение в определенном направлении может свидетельствовать об опасности ЛП для населенных пунктов и экономических объектов и о возможной ЧЛС.

Далее методически целесообразно перейти к комплексу факторов по влиянию лесорастительных условий на возникновение и развитие ЛП. Для определения степени готовности леса к воспламенению и поддержанию процесса горения в лесопирологической литературе пользуются таким показателем как горимость. Безусловно, для того чтобы древостой, стоящий на корню, и, соответственно, древесина, смог загораться и поддерживать процесс

горения, он должен иметь невысокую влажность, что зависит от его породного состава и степени поврежденности вредителями и лесными пожарами.

Кроме влажности, различный по породному составу древостой отличается и содержанием ряда веществ, которые имеют различную способность к воспламенению и поддержанию процесса горения. Например, горимость сосны и ели заметно выше горимости осины или березы. В первой паре деревьев смолистых веществ, которые воспламеняются при меньшей температуре и, соответственно, лучше поддерживают процесс горения, значительно больше, чем у второй из приведенных выше пар деревьев. Следовательно, одним из факторов, определяющих горимость древостоя является его породный состав, а, в качестве показателя опасности тех или иных лесных участков, с точки зрения возможностей возникновения и развития ЛП, является класс горимости лесных насаждений. Именно этот показатель, учитывая всю основную совокупность лесорастительных факторов, влияющих на пожароопасность древостоя, целесообразно использовать для прогнозирования динамики источников ЛС и, в целом, динамики ЧЛС, и, именно, этот показатель является общепризнанным среди ученых и специалистов в области лесной пирологии.

Следующим важным фактором для возникновения и развития ЛП является рельеф той местности, где возникает и развивается ЛП, в том числе перерастающий в ЧЛС.

Каким же образом рельеф оказывает свое влияние на ЛП?

Действительно, развитие лесных пожаров в горной местности имеет ряд отличий от их динамики на равнинной земной поверхности. Горная местность имеет ряд особенностей в распространении лесных пожаров по сравнению с равнинным рельефом. Так, при распространении пожара, возникшего ближе к вершине горы, он с большей скоростью, чем на равнине, распространяется вниз по склону, ввиду того, что горящие искры скатываются вниз и приводят к воспламенению нижерасположенного ЛГМ. Если же ЛП возник у подножия горы, то вследствие конвективных токов воздуха, направленных вверх, огонь быстрее распространяется также вверх по склону и кромка пожара быстро продвигается в том же направлении, особенно при попутных ветрах. В холмистой местности распространение кромки ЛП близко или аналогично тому, как это происходит в горной местности.

Влияние рельефа на возникновение и, особенно, на развитие пожара оказывают и наличие или отсутствие на пути распространения огня оврагов, ложбин и других складок местности. В указанных складках местности движение огня вниз и вверх во многом похоже на его движение в горной местности, но скорость движения кромки, как правило, ниже ввиду меньшего притока кислорода к горящей поверхности.

Методически важно понимать, что ЧЛС, в отличие от лесного пожара, предполагает негативное воздействие огня на населенные пункты, на экономические объекты, окружающую природную среду. Поэтому возникает необходимость, при прогнозировании динамики ЧЛС, учитывать и оценивать факторы, которые предотвращают или смягчают последствия такого воздействия. К таким факторам следует отнести: оптимальную тактику тушения каждого вида ЛП–источников ЧЛС, объемы работ по тушению ЛП различных видов–источников ЧЛС, оценку достаточности имеющихся сил и средств или прогнозировать потребности в силах и средствах для выполнения указанных объемов работ.

Результаты анализа большого объема лесопирологической литературы и проведенных исследований показывают то, что данные факторы при прогнозировании динамики ЧЛС для различных видов ЛП учитывались фрагментарно: либо велся расчет необходимых сил и средств на базе обособленных аналитических зависимостей для отдельных видов ЛП, как правило, низовых. Целостных, а именно, динамических моделей прогнозирования количества необходимых сил и средств, использование которых было бы возможным в оперативных контурах управления борьбой с ЧЛС до недавнего времени не было, что и привело к созданию мною при проведении моих диссертационных исследований таких

согласованных между собой математических моделей. А, учета в имеющихся математических моделях объемов работ по тушению лесных пожаров, с применением оптимальной тактики тушения каждого вида ЛП, в формализованном виде не существовало. Это также явилось одной из научных задач моих исследований в ходе работы над докторской диссертацией, которая была успешно решена в процессе указанных исследований. Создан комплекс согласованных математических моделей по прогнозированию динамики ЧЛС с учетом прогнозирования объемов работ при тушении ЛП различных видов оптимальными способами, а также расчетом в динамике потребностей в силах и средствах по каждому из видов лесных пожаров [2].

Следовательно, целесообразно сделать вывод о том, что выполненный в данной статье комплексный анализ методических особенностей определения и оценки факторов, влияющих на динамику чрезвычайных лесопожарных ситуаций, а также на математическое моделирование и прогнозирование их динамики, может быть использован в области лесопожарного прогнозирования, а также для развития и совершенствования информационного и методического обеспечения АИУС РСЧС при совершенствовании и разработке новых математических моделей прогнозирования динамики ЧЛС в целях обоснования и научной поддержки управленческих решений при организации борьбы с источниками ЧЛС - лесными пожарами различных видов.

Литература

1. Подрезов Ю.В., Шахрамьян М.А. Методологические основы прогнозирования динамики чрезвычайных лесопожарных ситуаций. Монография. Издание первое. - М.: ВНИИ ГОЧС. - 2001.
2. Подрезов Ю.В. Диссертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук на тему: «Методологические основы прогнозирования динамики и последствий чрезвычайных лесопожарных ситуаций». - Московский государственный университет леса. - 2005 г.
3. Подрезов Ю.В. Методологические основы прогнозирования динамики чрезвычайных лесопожарных ситуаций. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций» - 2000, № 3.
4. Подрезов Ю.В. Математическое моделирование оценки и прогнозирования лесопожарной обстановки и критерии ее остроты. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций». - 2001, № 4.
5. Подрезов Ю.В. Особенности и перспективные способы и технологии борьбы с лесными пожарами - источниками чрезвычайных лесопожарных ситуаций. Журнал «Технологии гражданской безопасности». - 2021, № 1.
6. Подрезов Ю.В. Лесные пожары в конце лета и осенью 2020 года за рубежом. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций». - 2021, № 1.
7. Подрезов Ю.В. Особенности борьбы с лесными пожарами летом 2020 года. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций». - 2020, № 5.
8. Подрезов Ю.В. Особенности борьбы с лесоторфяными и торфяными пожарами в Российской Федерации. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций». - 2016, № 3.

Сведения об авторе

Подрезов Юрий Викторович, доцент, главный научный сотрудник научно-исследовательского центра ФГБУ ВНИИ ГЧС (ФЦ); заместитель заведующего кафедрой Московского физико-технического института (государственного университета). Тел.: 8-903-573-44-84; e-mail: uvp1@mail.ru.

СОВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ МАССОВЫХ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

В.В. Абельмазов

**Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской
обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России»
(федеральный центр науки и высоких технологий).**

Впервые выполнен анализ современных особенностей возникновения массовых лесных пожаров, наиболее опасных, с точки зрения возможных последствий, для населения, различных объектов экономики, и окружающей природной среды при своем возникновении и развитии.

Ключевые слова: безопасность; лесная площадь; лесной пожар; массовые лесные пожары; массовые пожары; отдельный пожар; сплошной пожар.

MODERN FEATURES OF MASS FOREST FIRES

V.V. Abelmazov

**Federal State Budgetary Institution "All-Russian Research Institute
for Civil Defense and Emergency Situations of the Ministry of Emergency Situations
of Russia" (Federal Center for Science and High Technologies)**

The article for the first time analyzes the modern features of the occurrence of massive forest fires, the most dangerous, in terms of possible consequences, for the population, various economic facilities, and the environment during their occurrence and development.

Key words: security; forest area; forest fire; massive forest fires; massive fires; separate fire; complete fire.

Большой ущерб экономике страны и населению наносят лесные пожары (далее – ЛП) различных видов. Как показывает анализ литературных источников, в области пирологии, в том числе лесной пирологии, наиболее опасными являются массовые пожары (далее – МП), когда поражающие факторы лесных, торфяных и лесоторфяных отдельно или в их сочетании распространяются на объекты экономики и вызывают катастрофы или аварии. Это – так называемые массовые пожары, а точнее один из видов таких пожаров – отдельные пожары (далее – ОП) [1-3].

Из анализа лесопирологической литературы и практики борьбы с лесными пожарами следует, что одной из основных причин возникновения лесных пожаров в обычных условиях является нахождение населения на лесной площади, сопровождающееся нарушением правил пожарной безопасности в лесах. Кроме того, значительно меньшее число ЛП возникает от молниевых разрядов над лесной площадью и самовозгорание торфа при торфоразработках.

Необходимо отметить, что причиной ЛП может быть воздействие современных огневых средств или средств поражения, применяемых в результате террористической деятельности или в военное время для поджога лесов на больших площадях. В этом случае

могут возникать массовые лесные пожары (далее – МЛП), при этом поражающие факторы лесных пожаров различных видов могут воздействовать на различные объекты экономики, расположенные и функционирующие на лесной площади. В числе таких объектов целесообразно рассматривать критически важные объекты различных уровней (далее – КВО) и потенциально опасные объекты (далее – ПОО). Воздействие поражающих факторов лесных пожаров на указанные объекты может приводить к различным авариям, катастрофам и стихийным бедствиям разной физической природы. Именно этим и определяется большая опасность массовых ЛП, по сравнению с лесными пожарами обычных видов [1-3].

Выполненный анализ литературы по пирологии, в том числе по лесной пирологии, свидетельствует о том, что среди ученых и практиков нет однозначного подхода к понятию «массовый лесной пожар». Но, однако, с методической точки зрения и в интересах научной и практической деятельности целесообразно выделить МЛП в отдельную категорию, когда поражающие факторы лесных пожаров воздействуют на объекты экономики, функционирующие на лесной площади.

Следовательно, необходимо сделать вывод о том, что под МЛП целесообразно понимать совокупность последствий воздействия поражающих факторов лесного (лесных), торфяного (торфяных) или лесоторфяного (лесоторфяных) пожара или их совокупности на древостой в лесу, а также на объекты экономики, расположенные на лесной площади.

В большинстве своем МЛП возникают и развиваются в стадии лесного пожара как обычные лесные пожары, нанося большой ущерб экономике страны и регионов, населению, и окружающей природной среде. Результатами воздействия поражающих факторов лесных пожаров является повреждение или уничтожение целых населенных пунктов, расположенных на лесной площади. На практике таких примеров в разные годы достаточно много. В качестве их примеров можно напомнить ситуацию, сложившуюся летом 2021 года в Республике Саха (Якутия), где огнем наиболее быстро распространяющихся верховых лесных пожаров было уничтожено несколько населенных пунктов. Причиной таких ЛП на территории Якутии в этот период была очень сложная лесопожарная обстановка, вследствие сухой и жаркой погоды с сильными ветрами – это и было причиной возникновения и развития значительного количества лесных пожаров; больших лесных площадей, пройденных огнем, а также трансформации многих низовых пожаров в более опасные верховые ЛП.

Ниже остановимся на некоторых классификационных признаках лесных пожаров, которые могут перерасти в МЛП.

Действительно, следует, прежде всего, сказать об ярусности ЛП. По критерии ярусности, иначе говоря, по какому ярусу леса распространяется кромка ЛП выделяют: верховые, низовые и почвенные (лесоторфяные и торфяные) пожары. По другому критерию - по скорости распространения продвижения кромки ЛП - пожары подразделяются на беглые и устойчивые. Следующий критерий - интенсивность процесса горения по кромке пожара, позволяет выделить лесные пожары: сильной (высокой), средней и слабой интенсивности. Вышеназванные критерии и классификация лесных пожаров разработаны на базе многолетних научных исследований и многолетней практики борьбы с лесными пожарами и общепризнаны среди ученых и специалистов в области лесной пирологии [4-10].

Конечно, при анализе особенностей любого лесного пожара нас, прежде всего, интересует его динамика и опасность для защищаемых объектов, под которыми целесообразно понимать населенные пункты, объекты экономики и наиболее ценные объекты окружающей природной среды.

Как показывают результаты анализа специальной литературы, динамика различных видов ЛП, различна. Наибольшая скорость распространения присуща беглым верховым ЛП, а наиболее опасны по существующей классификации - верховые беглые пожары высокой

интенсивности. Следует отметить, что при сильных (штормовых) ветрах верховые ЛП преобразуются в, так называемые, пятнистые лесные пожары, при которых искры перед фронтом пожара разлетаются на дальность одну тысячу и более метров, что приводит к возгоранию все новых порций подсохшего лесного горючего материала (далее – ЛГМ) далеко за фронтальной кромкой. Таким образом, пятнистые ЛП являются наиболее опасными для различных объектов экономики и населенных пунктов вследствие высокой скорости распространения и, соответственно, меньшего времени для реагирования на них лесопожарных служб и принятия мер по борьбе с ними [4-10].

Переходя к низовым лесным пожарам, следует отметить, что они, в целом, распространяются с заметно меньшими скоростями, чем верховые. Вместе с тем, скорость распространения низовых беглых ЛП достаточна высока. Если низовой ЛП возникает и развивается при сильных ветрах, при условии, что скорость ветра все же недостаточна для его перерастания в верховой пожар и длительность сильного ветра не высока, то такой пожар распространяется довольно быстро и становится беглым низовым ЛП.

Медленнее всего из лесных пожаров распространяются почвенные пожары, которые порой бывает сложнее потушить, так как кромка такого пожара скрыта от визуального наблюдения, а доступ кислорода замедлен и происходит тление торфа под лесной постилкой (слоем опавших листьев и веток, прошлогодней травы и т.п.). Но, вместе с тем, торфяные и лесоторфяные пожары, как и другие вышеуказанные виды ЛП, могут трансформироваться в МЛП.

Анализ существа проблематики современных особенностей возникновения массовых ЛП свидетельствует о том, что такие пожары могут возникать не только исключительно в военное время, когда возможно в больших количествах применение огневых средств по лесной площади, с расположенными на ней объектами экономики. Современные террористические угрозы не исключают возможностей применения различными террористическими группами, с целью дестабилизации ситуации и нанесения значительного ущерба, огневых средств для поджога лесов с расположенными на их территории объектами экономики.

Таким образом, необходимо отметить, что с методической точки зрения, основной особенностью развития лесных пожаров разных видов является их способность, при определенных условиях, к преобразованию в массовые лесные пожары, которые представляют собой значительно большую опасность для населения, экономики и окружающей среды.

Литература

1. Кимстач И.Ф., Девлишев П.П., Евтюшкин Н.М. Пожарная тактика. М. - 1984.
2. Кимстач И.Ф., Девлишев П.П., Евтюшкин Н.М. Пожарная тактика: учебное пособие. – М. - 1984.
3. Приказ МЧС России № 444 от 16.10.2017 «Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ» (приложение № 10 к Уставу).
4. Щетинский Е.А. Тушение лесных пожаров (пособие для лесных пожарных). - М.: ВНИИЦлесресурс. - 1994.
5. Лесная энциклопедия в 2-х томах. – М.: Сов. Энциклопедия. - 1985.
6. Подрезов Ю.В. Диссертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук на тему: «Методологические основы прогнозирования динамики и последствий чрезвычайных лесопожарных ситуаций». - Московский государственный университет леса - 2005 г.
7. Подрезов Ю.В., Шахрамьян М.А. Методологические основы прогнозирования динамики чрезвычайных лесопожарных ситуаций. Монография. Издание первое. - М.: ВНИИ ГОЧС. 2001.
8. Подрезов Ю.В. Особенности и перспективные способы и технологии борьбы с лесными пожарами - источниками чрезвычайных лесопожарных ситуаций. Журнал «Технологии гражданской безопасности» - 2021. № 1.

9. Подрезов Ю.В., Ермаков С.Г. Новые методические подходы к защите населения и территорий. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций». - 2020. № 4.

Сведения об авторе

Абельмазов Владимир Вячеславович, аспирант ФГБУ ВНИИ ГЧС (ФЦ), заместитель начальника отдела инспектирования Аппарата Министра МЧС России; Тел.: 8-903-787-15-12; e-mail: abel2681@yandex.ru.

УДК 351.861

DOI: 10.36535/0869-4176-2022-04-10

О НЕКОТОРЫХ МЕТОДИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЯХ ОЦЕНКИ ЗАЩИЩЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ЛЕСНОЙ ПЛОЩАДИ, В УСЛОВИЯХ МАССОВЫХ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

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

В.В. Абельмазов
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский
научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны
и чрезвычайных ситуаций МЧС России»
(федеральный центр науки и высоких технологий).

Впервые выполнен анализ некоторых методических особенностей оценки защищенности функционирования наиболее важных и потенциально опасных объектов, расположенных на лесной площади, в условиях массовых лесных пожаров. Следует отметить, что материалы статьи будут полезны для развития и совершенствования информационного и методического обеспечения автоматизированной информационно-управляющей системы единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в интересах поддержки управленческих решений при организации защиты вышеуказанных объектов, расположенных на лесной площади в условиях массовых лесных пожаров.

Ключевые слова: анализ рисков; безопасность; защищенность; лесная площадь; лесной пожар; массовые лесные пожары; массовые пожары; мониторинг; огненный (огневой) шторм; отдельный пожар; сплошной пожар.

ON SOME METHODOLOGICAL FEATURES OF ASSESSING THE PROTECTION OF THE FUNCTIONING OF OBJECTS LOCATED ON A FOREST AREA UNDER CONDITIONS OF MASS FOREST FIRES

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

V.V. Abelmazov
Federal State Budgetary Institution "All-Russian Research Institute
for Civil Defense and Emergency Situations of the Ministry of Emergency Situations
of Russia" (Federal Center for Science and High Technologies)

The article for the first time analyzes some methodological features of assessing the security of the most important and potentially dangerous facilities located on a forest area in conditions of massive forest fires. It should be noted that the materials of the article will be useful for the development and improvement of information and methodological support for the automated information and control system of the unified state system for the prevention and elimination of emergencies in the interests of supporting management decisions when organizing the protection of the above objects located on a forest area in conditions of massive forest fires.

Keywords: risk analysis; safety; security; forest area; forest fire; massive forest fires; massive fires; monitoring; fire (fire) storm; separate fire; continuous fire.

Прежде всего, следует отметить, что рассматриваемые в данной статье материалы целесообразно использовать для развития и совершенствования информационного и методического обеспечения автоматизированной информационно-управляющей системы единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (далее – АИУС РСЧС) в интересах поддержки управленческих решений при организации защиты различных объектов инфраструктуры, имеющих важное экономическое и другое значение и расположенных на лесной площади в условиях массовых лесных пожаров.

Достаточно большое количество объектов: потенциально опасных (далее – ПОО), критически важных (далее – КВО), включая объекты государственного управления и военного назначения во многих странах, в том числе и в Российской Федерации, располагаются на лесной площади. Причин тому много, но главная из них - наличие маскировочных свойств леса. Но, и на лесной площади существует множество опасностей, которым могут подвергаться вышеуказанные объекты. При этом, основной природной опасностью в мирное время для них являются лесные пожары (далее – ЛП) различных видов. ЛП могут приводить к чрезвычайным лесопожарным ситуациям (далее – ЧЛС), поражающие факторы источников которых, в свою очередь, воздействуя на ПОО и КВО могут стать источниками техногенных ЧС.

Причины возникновения лесных пожаров, которые могут быть источниками ЧЛС, достаточно полно проанализированы, описаны и приведены в литературе по лесной пирологии. К основным указанным причинам относятся, прежде всего, нарушения мер пожарной безопасности населением при пребывании в лесах с различными целями (отдых; сбор грибов, ягод и лекарственных трав; сенокошение и т.п.), промышленная деятельность лесозаготовительных организаций и арендаторов лесных участков, а также молниевые разряды над лесными площадями [1-6].

Источниками ЛП могут быть не только нарушения мер пожарной безопасности в лесах или разряды молний, но и применение различных средств поражения – огневых средств.

Вероятность такой причины ЛП возрастает при военных конфликтах, в условиях террористических угроз и в военное время [8,9].

Действительно, современный мир стал более опасным для людей и экономик разных стран. В последние десятилетия в различных уголках мира возникает множество вооруженных конфликтов, в том числе и на лесных площадях, где порой располагаются важные объекты, о которых говорилось выше.

При определенной лесопожарной обстановке и при определенных источниках лесных пожаров на лесной площади могут возникать массовые лесные пожары, которые могут перерасти в чрезвычайные лесопожарные ситуации (далее – ЧЛС) при которых возможно воздействие поражающих факторов ЛП на объекты экономики или обороны, расположенные на лесной площади, и причинение им ущерба или даже полное уничтожение указанных объектов.

По результатам анализа пирологической литературы, с методической точки зрения, следует под массовыми пожарами (далее – МП) понимать совокупность сплошных и отдельных пожаров в зданиях, сооружениях различного назначения или в открытых крупных складах различных горючих материалов, одновременно возникающих и развивающихся на большой площади. При этом, под большой площадью целесообразно понимать и лесные площади, охватывающие десятки, сотни и тысячи гектаров, на которых возможно возникновение и развитие ЛП, приводящих и к массовым лесным пожарам (далее – МЛП), к чрезвычайным лесопожарным ситуациям, и к техногенным ЧС – при воздействии поражающих факторов ЛП на ПОО и КВО, располагаемые на лесной площади. Следует также понимать и с методической точки зрения важно учитывать, что в литературе по пирологии массовый пожар рассматривается как совокупность отдельных и сплошных пожаров [8-10].

Что же в литературе и на практике борьбы с МП понимается под сплошными (далее – СП) и отдельными пожарами (далее – ОП)?

Необходимо также иметь ввиду, что, СП - это одновременное интенсивное горение большого количества объектов на данном участке территории. А, ОП представляет собой пожар, который возникает в отдельном здании или сооружении, или на объекте, а также на участке леса или торфяного поля [8-11].

Есть еще одна форма пожара – это огневой шторм, который представляет собой особую форму развивающегося СП, характеризующегося существованием восходящего потока продуктов горения и нагретого воздуха.

Анализ пирологии, в том числе лесной пирологии позволяет сделать вывод о том, что в ней нет однозначного подхода к понятию «массовый лесной пожар». Между тем необходимость такого понятия методически важна для научной и практической деятельности при разработке систем поддержки управленческих решений в целях организации борьбы с лесными пожарами поражающие факторы которых воздействуют на опасные важные объекты, располагаемые на лесной площади.

В свою очередь, с методической точки зрения целесообразно понимать, что МЛП представляет собой совокупность результатов воздействия лесного или торфяного пожара или их совокупности (лесных или торфяных пожаров) на лес, а также важные и опасные объекты, расположенные на лесной площади.

Подводя итог различий пожаров по таким классификационным признакам, как их масштабы и интенсивность, методически важно отметить, что в литературе по пирологии выделяют следующие виды пожаров: отдельные, сплошные, массовые и огневой шторм.

С методической точки зрения важно также понимать, что интенсивность массовых лесных пожаров зависит от вида ЛП, а также в случае его воздействия на ПОО и КВО, расположенные на лесной площади, во многом определяется степенью огнестойкости объектов и конструкций, а также горючестью стройматериалов.

По результатам анализа многочисленной пирологической литературы включая лесопирологическую, можно прийти к выводу о том, что все пожары характеризуются комплексом параметров, среди которых необходимо выделить следующие:

- площадь пожара;
- продолжительность пожара;
- зону горения;
- зону теплового воздействия;
- зону задымления;
- фронт сплошного пожара;
- температуру открытого пожара
- параметры, характеризующие опасность погодных условий [9,10].

Приведенная совокупность параметров МЛП достаточно полно характеризует опасность таких пожаров и является основой для математического моделирования и прогнозирования динамики МЛП, а далее и их последствий, что весьма важно для поддержки и обоснования управленческих решений по борьбе с МЛП.

Далее необходимо определиться с основными поражающими факторами МЛП.

Анализ пирологической литературы, включая лесопирологическую позволяет выделить следующие поражающие факторы МЛП:

- тепловое излучения;
- токсическое действие продуктов горения на живые организмы [7-11].

При этом под тепловым излучением целесообразно понимать непосредственное воздействие огня на любой горящий предмет (иначе говоря - горение), включая древостой в лесу, а также и дистанционное воздействие высокими температурами на предметы, объекты и древостой [9,10].

Результатом воздействия теплового излучения МЛП на лесной площади является сгорание зданий и сооружений, предметов и в целом объектов, их разрушение, взрывы емкостей с опасными веществами и т.п., выход их из строя, а также уничтожение леса.

Следует отметить, что при МЛП люди могут погибать или получать разных степеней ожоги, а также разных степеней ожоги верхних дыхательных путей, причем степень ожога определяется глубиной поражения живой ткани и кожи.

С методической точки зрения следует отметить, что кроме теплового излучения, к основной причине, приводящей к гибели людей при МЛП относится отравление различными продуктами горения. При этом наиболее высока вероятность отравления в высоких зданиях и сооружениях, где верхние этажи, даже при не большом пожаре, быстро заполняются дымом и нагретым воздухом. Следует отметить, что дым природных пожаров менее токсичен, но вместе с тем тоже опасен.

Кроме физической опасности МЛП характеризуются большим психологическим эффектом для людей. Действительно, неожиданное загорание многих объектов, различные звуковые эффекты, которые возникают при пожаре (а, это сильный треск при горении в помещениях и сооружениях, гудение горящего леса, снижение видимости из-за задымленности и т. п.), зачастую способны вызвать испуг человека и даже панику, что может увеличить количество жертв.

Также, с методически важно понимать отличие МЛП от ЛП, которое заключается в том, что наиболее сложные пожары, к которым относятся массовые лесные пожары, поражающие факторы которых воздействуют на ПОО И КВО, на этих объектах могут возникать, и возникают так называемые вторичные факторы (последствия).

Вторичные факторы МЛП во многом определяются тем типом объектов, которые располагаются на лесной площади и, соответственно, типом веществ, используемых на них, которые могут привести к негативным последствиям. В частности, к таким факторам необходимо отнести взрывы, пожары, утечку в окружающую среду ядовитых или загрязняющих веществ и т.п.

В качестве примера вторичных факторов МЛП следует сказать о взрывах на взрывоопасных объектах.

На промышленных объектах, расположенных на лесной площади возможны различные виды взрывов, в частности:

- взрывы на радиационно опасных объектах, приводящие к выбросу радиоактивных веществ в атмосферу;
- объемные взрывы, образующихся облаков газо-воздушных смесей, способных к взрыву на пожароопасных и химически опасных объектах;
- взрывы различных продуктопроводов и трубопроводов, сосудов, находящихся под высоким давлением или с перегретой жидкостью.

У каждого опасного процесса будь то природный или техногенный процесс существует совокупность поражающих факторов. Что же можно отнести к основным поражающим факторам взрыва?

Из анализа многочисленной специальной литературы следует, что к основным поражающим факторам взрывов следует отнести:

- радиацию и радиационное заражение местности;
- воздушную ударную волну;
- осколочные поля.

Данная совокупность поражающих факторов позволяет целенаправленно выбирать, планировать и реализовывать мероприятия по защите объектов, расположенных в лесах в условиях МЛП.

Следует отметить, что к числу базовых превентивных мероприятий по недопущению негативных последствий, безусловно, относятся мероприятия, которые нацелены на исключение причин, приводящих к взрыву.

Классические мероприятия, проводимые для этого на самих ПОО и КВО представляют собой совокупность мер по содержанию всего оборудования, прежде всего, энергетических сетей в работоспособном состоянии, а также поддержание нормального состояния производственных технологических режимов.

Для оценки защищенности функционирования наиболее важных (КВО) и ПОО, расположенных на лесной площади, в условиях МЛП методически важно и необходимо, прежде всего, дать оценку полноте и качеству мероприятий по противодействию пожарам, которые реализуются в процессе планирования и выполнения мер обеспечения пожарной безопасности. При этом, следует иметь ввиду, что на каждом из указанных объектов должны определяться и устанавливаться необходимые противопожарные режимы и требования пожарной безопасности и, а также выполняться все необходимые меры пожарной безопасности.

Результаты анализа пирологической, включая леспирологическую, литературы позволяют:

а) к числу превентивных мероприятий по обеспечению противопожарной безопасности объектов, расположенных на лесной площади от МЛП, отнести:

- устранение причин, приводящих к МЛП;
 - поддержание сил и средств ликвидации пожара в постоянной готовности к борьбе с МЛП;
 - своевременное обнаружение и классификацию МЛП;
 - доведение информации о МЛП до должностных лиц ПОО и КВО;
 - оповещение населения и работников ПОО и КВО о пожаре;
 - создание необходимых условий для эвакуации людей и имущества при пожаре;
- б) к числу мероприятий по борьбе с МЛП отнести:
- организацию эвакуации (при необходимости) людей и имущества при МЛП;
 - ограничение (локализация) распространения любого вида МЛП (лесного, техногенного или их совокупности);

- тушение МЛП (включая лесную, техногенную составляющие или их совокупность);
- всестороннее обеспечение мероприятий по борьбе с МЛП [1-11].

Важное место в оценке защищенности функционирования объектов, прежде всего, ПОО и КВО, расположенных на лесной площади, в условиях МЛП, с использованием возможностей АИУС РСЧС, должно занимать адекватное математическое моделирование такой оценки, предусматривающее выбор и обоснование показателей моделирования с последующей возможностью построения математической модели, алгоритма оценки и методики, а также программирования и разработки соответствующего программно-технического комплекса.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что с методической точки зрения оценка защищенности функционирования объектов, расположенных на лесной площади, в условиях МЛП должна предполагать создание системы информационно-аналитической поддержки управленческих решений, основанной на методике такой оценки с использованием возможностей АИУС РСЧС.

Литература

1. Подрезов Ю.В. Особенности и перспективные способы и технологии борьбы с лесными пожарами - источниками чрезвычайных лесопожарных ситуаций. Журнал «Технологии гражданской безопасности». -2021, № 1.
2. Подрезов Ю.В., Ермаков С.Г. Новые методические подходы к защите населения и территорий. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций». – 2020, № 4.
3. Подрезов Ю.В. Лесные пожары в конце лета и осенью 2020 года за рубежом. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций». - 2021, № 1.
4. Подрезов Ю.В. Особенности борьбы с лесными пожарами летом 2020 года. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций». - 2020, № 5.
5. Подрезов Ю.В. Диссертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук на тему: «Методологические основы прогнозирования динамики и последствий чрезвычайных лесопожарных ситуаций». - Московский государственный университет леса. - 2005 г.
6. Подрезов Ю.В., Шахрамьян М.А. Методологические основы прогнозирования последствий чрезвычайных лесопожарных ситуаций. Монография. Издание первое. - М.: ВНИИ ГОЧС. - 2001.
7. <https://pozhprouekt.ru/enciklopediya/massfire>.
8. <https://alekstroy.com/otdelnye-pozhary-harakteristika/>
9. Кимстач И.Ф., Девлишев П.П., Евтюшкин Н.М. Пожарная тактика. М. - 1984.
10. Кимстач И.Ф., Девлишев П.П., Евтюшкин Н.М. Пожарная тактика: учебное пособие. – М. - 1984.
11. Приказ МЧС России № 444 от 16.10.2017 «Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ» (приложение № 10 к Уставу).

Сведения об авторах

Подрезов Юрий Викторович, доцент, главный научный сотрудник научно-исследовательского центра ФГБУ ВНИИ ГЧС (ФЦ); заместитель заведующего кафедрой Московского физико-технического института (государственного университета). Тел.: 8-903-573-44-84; e-mail: uvp1@mail.ru

Абельмазов Владимир Вячеславович, аспирант ФГБУ ВНИИ ГЧС (ФЦ), заместитель начальника отдела инспектирования Аппарата Министра МЧС России; Тел.: 8-903-787-15-12; e-mail: abel2681@yandex.ru

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ НОРМАТИВНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЧНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ МОРСКИХ ПОДВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Член-корреспондент РАН *Н.А. Махутов*
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН

Доктор техн. наук *А.М. Лепихин*
Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных
технологий, НТЦ «Нефтегаздиагностика»

Кандидат техн. наук *В.В. Лещенко*
НТЦ «Нефтегаздиагностика»

Рассматривается сложившееся состояние нормативного регулирования прочности и безопасности морских подводных трубопроводов. Дан краткий сравнительный анализ отечественных и зарубежных норм проектных и поверочных расчетов трубопроводов. Представлены научно-методические обоснования совершенствования отечественной нормативной базы в современных правовых и экономических условиях. Определена общая структура стандартов и обосновано содержание проектных, поверочных и специальных расчетов морских подводных трубопроводов.

Ключевые слова: морские подводные трубопроводы, прочность, безопасность, стандарты, нормы.

SCIENTIFIC FOUNDATIONS FOR REGULATIONS OF STRENGTH AND SAFETY OF SUBSEA PIPELINES

Corresponding Member of the RAS *N.A. Makhutov*
Mechanical Engineering Research Institute of the RAS

Dr (Tech) *A.M. Lepikhin*
Federal research center for information and computational technologies,
NTC NefteGazDiagnostika

Ph.D. (Tech) *V.V. Leshchenko*
NTC NefteGazDiagnostika

The current state of normative regulation of the strength and safety of subsea pipelines is considered. A brief comparative analysis of domestic and foreign standards for design and verification calculations of pipelines is given. Scientific and methodological justifications for improving the domestic regulatory framework in modern legal and economic conditions are presented. The general structure of the standards is determined and the content of design, verification and special calculations of subsea pipelines is substantiated.

Keywords: subsea pipeline system, strength, safety, regulation, guides and standards.

Введение

Морские подводные трубопроводные системы являются важным элементом инфраструктуры добычи углеводородов на континентальном шельфе. Активное освоение континентального шельфа и сопутствующее развитие трубопроводного транспорта углеводородов ставит новые задачи проектирования, строительства и обеспечения безопасной эксплуатации морских подводных трубопроводов. Современные морские подводные трубопроводные системы обладают достаточно высоким уровнем надежности. Тем не менее, постоянно возрастающие требования по надежности и безопасности диктуют необходимость дальнейшего совершенствования технологий и нормативной базы. По мере развития отрасли нормативная база постоянно развивается, отражая расширение областей эксплуатации, накопленный опыт и результаты научных исследований. Это развитие, с одной стороны, должны обеспечивать повышение надежности подводных трубопроводов, с другой, не создавать барьеров для развития морского трубопроводного транспорта.

Отечественная нормативная база проектирования морских подводных трубопроводов начала складываться во второй половине прошлого века. Последние десятилетия нормативная база формировалась в основном за счет заимствований положений зарубежных стандартов. В итоге сложилась многоуровневая структура государственных и отраслевых стандартов, а также стандартов предприятий, основанных на разных методологических базах. Существовавший единый методологический подход оказался размыт. Сложившаяся в настоящее время в экономике страны ситуация диктует необходимость пересмотра такого подхода к нормативному обеспечению проектирования и эксплуатации морских подводных трубопроводов.

Анализ показывает, что современное состояние отечественной нормативной базы в указанной области не в полной мере соответствует практическим задачам и требуемому уровню обеспечения прочности и безопасности. Разные элементы морских подводных трубопроводных систем проектируются с использованием различных подходов. Наиболее критичным элементом нефтегазопромысловых сооружений на континентальном шельфе являются промысловые и технологические трубопроводные системы. Это объясняется их сложной конфигурацией, тяжелыми условиями эксплуатации, сложностями при проведении обслуживания, технического диагностирования и ремонтов. В связи с указанными обстоятельствами нормативное обеспечение прочности и безопасности подводных промысловых и технологических трубопроводов имеет первостепенное значение.

Цель данной статьи заключается в анализе общего состояния и направлений совершенствования нормативной базы обеспечения прочности и безопасности морских подводных трубопроводных систем с учетом достижений отечественного и мирового опыта. Основное внимание уделено возможностям развития стандартов и норм в современных правовых и экономических условиях на отечественной научно-методологической базе.

Анализ состояния нормативной базы обеспечения прочности и безопасности

Мировой опыт проектирования и строительства морских подводных трубопроводных систем наглядно показал, что столь сложные инженерные сооружения могут быть успешно созданы только на основе синтеза достижений в области строительной механики, механики материалов, теории прочности и практического опыта. Теоретическим обоснованиям прочности, долговечности и безопасности морских подводных трубопроводов посвящено большое число фундаментальных исследований, анализ которых можно найти в работах [1-4]. На основе этих исследований и опыта строительства морских подводных трубопроводов разработан ряд отечественных и зарубежных норм. В отече-

ственной практике первоначально использовались общие строительные нормы расчета магистральных трубопроводов [5]. В последствии были разработаны специальные методические рекомендации [6], а затем нормы расчета морских трубопроводов [7].

Новая система стандартов в области проектирования и эксплуатации морских подводных трубопроводов начала формироваться с введением в действие Федерального закона «О промышленной безопасности» (116-ФЗ). С учетом требований гармонизации отечественных норм с зарубежными стандартами были разработаны нормы [8], учитывающие опыт международных нормативных документов серий BS8010 (1993), API 5L (1995), ASME BS31.8 (1996) и DNV-OS-F101 (1996). В последствии на основе международного опыта были созданы ведомственные нормы [8-10] и разработан ГОСТ Р 54382–2011 [11]. Фактически эти стандарты являются переводами зарубежных стандартов DNV-OS-F101 [12] и DNV-RP-F109 [13], без каких-либо особых оговорок по использованию в отечественной практике. Следует отметить, что при обсуждении проекта указанного ГОСТ были предложения ВНИИСТ взять за основу отечественные нормы расчета (указаны ниже). Но эти предложения были отвергнуты по той причине, что владелец авторских прав на стандарты DNV разрешал их использование без изменений, добавлений или удалений.

Помимо этого, были разработаны нормы [14] с общими требованиями к проектированию морских трубопроводов. В них указано, что расчеты на прочность и устойчивость могут быть выполнены с использованием методов расчета по допускаемым напряжениям. Отметим, что несмотря на то, что они разработаны позже указанного выше ГОСТ, ссылок на него в тексте нет.

Отдельную группу отечественных стандартов по проектированию морских подводных трубопроводов составляют нормы Российского морского регистра судоходства [15, 16]. Именно они предлагались в качестве основы разработки ГОСТ Р 54382–2011. Особенность этих стандартов заключается в том, что они основаны на отечественной методологической базе расчетов прочности и устойчивости трубопроводов, не уступающей концепциям расчетов по стандартам серии DNV. В отличие от указанных выше норм [8-11] эти стандарты используют методы расчета прочности и устойчивости по допускаемым напряжениям.

Зарубежный опыт проектирования и расчетов прочности морских подводных трубопроводов включает несколько систем стандартов. Наиболее развитой является система стандартов DNV, отраженная в документе DNVGL-ST-F101 [17]. Базовым является стандарт [12], где изложен общий подход и методы расчетов прочности и локальной устойчивости трубопроводов. Философия норм DNV основана на концепции предельных состояний и деления классов безопасности трубопроводов. Расчеты проводятся по четырем видам предельных состояний: предельное состояние разрушения (ultimate limit state, ULS); предельное состояние пригодности к эксплуатации (serviceability limit state, SLS); предельное состояние по усталости (fatigue limit state, FLS) и аварийное предельное состояние (accidental limit state, ALS). Эти базовые расчеты дополняются специализированными расчетами колебаний трубопроводов в зонах свободных пролетов [18], устойчивости трубопроводов [13], учетом влияния циклических пластических деформаций [19], влияния коррозии [20] и рядом других расчетов.

Менее детализированными в части расчетов прочности являются американские нормы [21, 22], британские нормы [23] и стандарты серии ISO [24]. Следует отметить, что API является мировым лидером в разработке, поддержании и распространении стандартов для нефтяной отрасли. Основной принцип проектирования по указанным нормам заключается в использовании расчетных подходов для сосудов высокого давления. Определяющим параметром работоспособности трубопроводов в этих нормах является окружное напряжение.

В России настоящее время в области проектирования и расчетов прочности и устойчивости морских подводных трубопроводов сложилась разнородная структура норм и стандартов, существенно различающихся как концептуальными положениями, так и параметрами методов расчета. Учитывая отмеченный выше формальный подход к гармонизации отечественных и зарубежных норм, укажем на некоторые важные моменты расхождения отечественной практики и положений зарубежных норм, перенесенных в отечественные стандарты [8-11].

Во-первых, принятые в зарубежных стандартах расчетные характеристики материалов, коэффициенты запаса, расчетные нагрузки и предельные состояния не пересматривались и не адаптировались к отечественным морским подводным трубопроводным системам. Как известно, в отечественной практике в качестве базовых характеристик механических свойств металла используются условный предел текучести $\sigma_{0.2}$ при величине остаточной деформации $\varepsilon = 0.2\%$ и временное сопротивление разрушению σ_b . В зарубежных нормах предел текучести для трубных сталей определяется при величине остаточной деформации $\varepsilon = 0.5\%$ ($\sigma_{0.5}$). Поэтому корректное сопоставление труб по стандартам ГОСТ 31447-2012 и ГОСТ ИСО 3183-2012 (ISO3183:2007) или API-5L возможно только по величинам временного сопротивления разрушению. Однако и здесь есть различия. В западных стандартах нормативные величины пределов текучести R_y и временного сопротивления R_u задаются с доверительной вероятностью 0.98 ($\alpha = 0.01$), а в отечественных – с доверительной вероятностью 0.95 ($\alpha = 0.025$). В результате этого расчетные характеристики трубных сталей оказываются существенно различными по своим величинам (рис. 1).

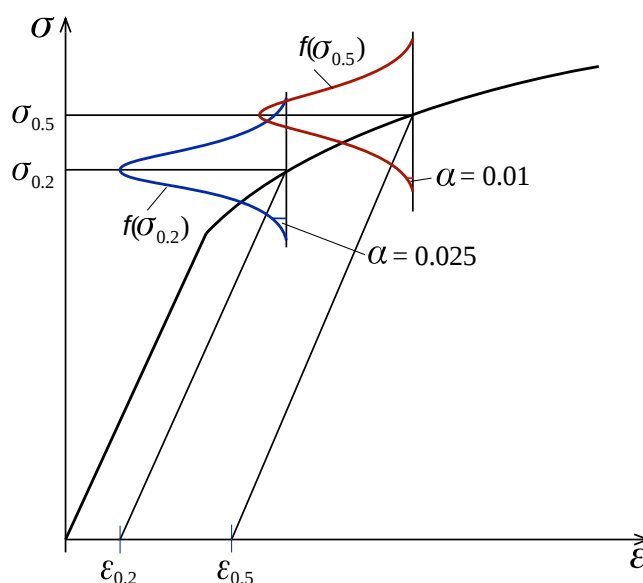


Рис. 1. Схема определения условных пределов текучести $\sigma_{0.2}$ и $\sigma_{0.5}$ на диаграмме деформирования с учетом плотностей распределения вероятностей $f(\sigma_{0.2})$ и $f(\sigma_{0.5})$

Во-вторых, используемые коэффициенты запаса по материалам, по нагрузкам и условиям эксплуатации в отечественных и зарубежных нормах имеют различные рекомендуемые значения, обоснованные соответствующей многолетней практикой и экспериментальными исследованиями. В частности, в нормах [15] диапазон коэффициентов запаса по пределу текучести составляет 1.18–1.25, а по временному сопротивлению разрушению 1.75–2.0. Если к такой же форме привести коэффициенты запаса по [25], то соответ-

ствующие диапазоны составляют 1.42–2.4 и 1.75– 3.3, а по нормам [11, 12] получаем диапазон в пределах 1.04–1.75.

В-третьих, используемые в зарубежных стандартах классы безопасности морских подводных трубопроводов не имеет аналогов в отечественной практике. Соответственно невозможно найти отечественных аналогов коэффициентам запаса (безопасности), связанных с этими классами безопасности.

С учетом указанных различий расчеты по нормам [8-11] и [15] могут оставлять существенные разночтения в обоснованиях прочности и устойчивости морских подводных трубопроводов. Серьезные проблемы возникают и при обоснованиях безопасности трубопроводов, где требуется вероятностно-статистический анализ сочетаний комплекса нагрузок и различных видов предельных состояний трубопроводов.

Резюмируя представленный выше анализ стандартов и норм проектирования морских подводных трубопроводов можно констатировать следующее. Во-первых, существующие нормативные документы отражают уже накопленный опыт проектирования, строительства и эксплуатации трубопроводов. Внедрение новых технологий, расширение диапазонов рабочих параметров, строительство в уникальных природно-климатических условиях, применение новых материалов и оборудования требуют постоянной корректировки нормативной документации. Во-вторых, многие особенности инженерных решений строительства и эксплуатации морских трубопроводов, в стандартах сформулированы недостаточно четко или отсутствуют вовсе. В-третьих, многие воплощаемые на практике технические решения по строительству и ремонту морских подводных трубопроводов не имеют достаточного обоснования и требуют специальной нормативной регламентации. В-четвертых, прямой перенос положений зарубежных норм на отечественную практику проектирования и эксплуатации морских подводных трубопроводов представляется крайне проблематичным в силу различий базовых положений, нормативных характеристик механических свойств, коэффициентов запасов и условий эксплуатации. Немаловажное значение имеют и терминологические разночтения в отечественных и зарубежных нормах и стандартах. Следствием этого являются существенные затруднения практического использования стандартов, а в ряде случаев возможны серьезные ошибки и просчеты с риском возникновения аварий.

Задачи совершенствования стандартов и норм обеспечения прочности и безопасности

С учетом изложенного, рассмотрим актуальные задачи совершенствования нормативной базы обеспечения прочности и безопасности морских подводных трубопроводов. Основная задача состоит в определении состава и методологических основ расчетов прочности и безопасности морских подводных трубопроводов. В настоящее время в инженерной практике используются три методологических подхода к расчетам прочности конструкций: по допускаемым напряжениям, по предельным нагрузкам и по предельным состояниям. Трубопроводные системы традиционно относятся к строительной отрасли, где в расчетах конструкций доминирует концепция расчетов по предельным состояниям. Тем не менее, в нормах [15] использована методология расчета по допускаемым напряжениям. Методология расчетов по предельным состояниям использована в отечественных стандартах [8, 9, 11, 25] и зарубежных нормах [12, 21-24]. С позиций этой методологии прочность и безопасность морских подводных трубопроводов считается обеспеченной, если расчетные нагрузки L не превышают предельной несущей способности Φ [11, 12]:

$$L^{(i)}(L_F, L_E, L_A; \gamma_F, \gamma_E, \gamma_A) \leq \Phi^{(i)}(R_n, A), \quad (1)$$

где $L^{(i)}$ – расчетные нагрузки для i -того вида предельного состояния, определяемые сочетанием функциональных нагрузок L_F , нагрузок внешней среды L_E и аварийных нагрузок L_A ; $\gamma_F, \gamma_E, \gamma_A$ – коэффициенты запаса по нагрузкам; $\Phi^{(i)}$ – предельная несущая способность для i -того вида предельного состояния; R_n – расчетное сопротивление материала; A – характеристика поперечного сечения труб.

При проведении расчетов на прочность трубопроводов условие (1) обычно представляется в терминах кольцевых и/или эквивалентных напряжений, которые сопоставляются с расчетными сопротивлениями материала. Учитывая [11, 15] и нормы [25] расчетное сопротивление материала R_n целесообразно представить в следующем виде:

$$R_n = \min\{R_y, R_u\}, R_y = \frac{R_{yn}\gamma_c}{\gamma_{my}\gamma_n\gamma_{ty}}, R_u = \frac{R_{un}\gamma_c}{\gamma_{mu}\gamma_n\gamma_{tu}} \quad (2)$$

Сложность расчетов R_n заключается в обосновании коэффициентов запаса по материалу γ_{my} и γ_{mu} , по ответственности γ_n , по условиям работы γ_c , по температуре эксплуатации γ_{ty} и γ_{tu} . Определенные в нормах [25] значения этих коэффициентов для наземных трубопроводов не в полной мере соответствуют конструкции и условиям эксплуатации морских подводных трубопроводов. Значения коэффициентов, приведенные в [11], относятся к зарубежным материалам и иным условиям эксплуатации морских трубопроводов. Поэтому они не могут считаться правомерными для отечественных трубопроводов, без дополнительных обоснований. Принимая во внимание указанные обстоятельства, в первом приближении эти коэффициенты можно задавать таким образом, чтобы их произведения соответствовали значениям коэффициентов запаса n_e и n_m по нормам [15].

Еще одним сложным вопросом является задание указанных выше коэффициентов запаса по нагрузкам. Спектр нагрузок для морских подводных трубопроводов существенно отличается от нагрузок для наземных трубопроводов. Представленные в нормах [15] коэффициенты значимости компонентов нагрузки не в полной мере учитывают эти особенности. Нормы [11, 12] устанавливают значения коэффициентов запаса нагрузок, характерные для иных, отличных от российских геологических, климатических и гидродинамических регионов. Принимая это во внимание, для решения задачи обоснования коэффициентов запаса по нагрузкам и введения их в нормы расчетов требуется дополнительный широкий вероятностно-статистический анализ условий эксплуатации морских подводных трубопроводов на шельфах отечественных морей.

Важное значение имеет и структура методов расчета. В настоящее время, вслед за атомной отраслью, во многих отраслях промышленности начинает проводиться дифференциация методов расчета на основные (проектные) и проверочные. Проектные расчеты заключаются в обосновании основных конструктивно-технологических параметров: конструкционных материалов, основных геометрических размеров допустимых уровней нагрузок и воздействий. Эти расчеты проводятся в основном по критериям статической прочности. Проверочные расчеты заключаются в обосновании прочности и безопасности конструкций с учетом технической информации о реальных геометрических размерах, дефектах и повреждениях, действующих нагрузках, фактических характеристиках механических свойств, а также при уточнениях расчетной схемы трубопровода.

С учетом этого структуру расчетов прочности и безопасности морских подводных трубопроводов на основе условия (1) в нормативных документах следует рассматривать в следующем виде. Первый (проектный) уровень расчетов должен заключаться в выборе конструктивно-технологических параметров при заданных функциональных нагрузках и воздействиях внешней среды, удовлетворяющих следующему условию прочности:

$$L^{(i)}(L_F, L_E; \gamma_F, \gamma_E) \leq \Phi^{(i)}(R_n, A), \quad (3)$$

Проектные расчеты обычно проводятся по первой (основной) группе предельных состояний – потере несущей способности. По классификации [11] сюда можно отнести указанные выше предельные состояния ULS и FLS. Ключевыми элементами проектных расчетов являются: определение требуемых геометрических размеров труб по условиям прочности; расчет на устойчивость (упругое смятие) под действием гидростатического давления; расчет на локальное смятие; расчет на лавинное смятие; расчет на усталостную прочность; расчет на сейсмические воздействия. Основные положения этих расчетов представлены в стандартах [11, 14-16]. В целом они удовлетворяют требованиям практики и требует лишь указанных выше уточнений коэффициентов запаса и расчетных характеристик материалов.

Расчет по критериям циклической прочности (предельное состояние FLS) в указанных нормах представлен крайне упрощенно и заключается в определении величины накопленного усталостного повреждения. В связи с этим отметим, что особенность расчетов усталостной прочности должна заключаться в проверке обеспечения условия:

$$L_N\{A; L_F(t), L_E(t); \gamma_F, \gamma_E\} \leq \Phi_N(R_n) \quad (4)$$

или

$$N\{L_F(t), L_E(t); \gamma_F, \gamma_E\} \leq N_f(R_n, A). \quad (5)$$

В первом случае определяются амплитудные напряжения или деформации L_N , которые не должны превышать разрушающих амплитудных значений Φ_N . Во втором случае определяется число циклов нагружения N , которое не должно превышать предельную величину N_f . Важно отметить, что здесь должно учитываться изменение расчетных характеристик, нагрузок и воздействий во времени t .

Следует принимать во внимание то, что подводный трубопровод подвергается комбинации различных воздействий, к числу которых относятся: рабочее давление, собственный вес трубопровода, выталкивающее усилие, крутильные и изгибающие нагрузки, реакции взаимодействия грунт/трубопровод, гидродинамические силы течений и волн, силы упругости трубопровода, сжимающее или растягивающее продольное усилие, возникающее при протаскивании трубопровода или вследствие изменения температурного режима. Часть указанных нагрузок является квазистатическими, часть циклическими, с различными частотами нагружения. Наиболее сложными и вариативными компонентами являются взаимодействие трубопровода с грунтом и гидродинамические силы. Особое значение имеет нестационарность гидродинамических сил и возможность случайных вихреобразований в условиях нестационарных свободных пролетов. Если частота вихреобразования близка к собственной частоте трубопровода, то возникает вихревая вибрация, которая в конечном итоге может привести к недопустимому усталостному повреждению. Поэтому в нормах [18] для оценок долговечности используется два вида анализа: статический анализ (для изолированных свободных пролетов) и динамический анализ (для взаимодействующих пролетов). В обоих случаях оценка усталостной прочности является нетривиальной задачей, требующей анализа процессов малоциклового и многоциклового усталости. Это направление требует отдельного внимания при совершенствовании нормативной базы. Вполне актуальной в этом направлении является разработка вероятностных методов расчетов усталостной прочности.

Второй (поверочный) уровень расчетов должен охватывать все ситуации, связанные с изменениями состава заданных нагрузок, расчетной схемы и/или технического состояния подводного трубопровода. В первую очередь такой расчет должен проводиться для обоснования безопасности трубопроводов при аварийных нагрузках и воздействиях

(предельное состояние ALS). В этом случае необходимо учитывать комплекс стационарных L_F , L_E и длительно нестационарных или циклических нагрузок $L_F(t)$, $L_E(t)$, с кратковременными аварийными нагрузками $L_A(\tau)$. Обоснование безопасности может быть выполнено в виде детерминированных расчетов с использованием коэффициентов безопасности [11, 12]:

$$L_\tau\{L_F, L_E; L_F(t), L_E(t); L_A(\tau); \gamma_{Fs}, \gamma_{Es}, \gamma_{As}\} \leq \gamma_s \Phi_\tau(R_n, A) \quad (6)$$

или в виде вероятностных расчетов по критериям риска [26]:

$$R(t) = P\{L_\tau > \Phi_N(R_n, A)\} \times U \leq [R], \quad (7)$$

где $R(t)$ – расчетная величина риска; P – вероятность события; U – ущерб от аварии; $[R]$ – допустимый риск.

Коэффициенты запаса (безопасности) γ_{Fs} , γ_{Es} , γ_{As} , γ_s приведены в [12] и продублированы в стандарте [11]. Однако это дублирование не имеет соответствующего обоснования для отечественных морских подводных трубопроводов.

Следует отметить, что при вероятностных расчетах по критериям риска коэффициенты запаса в расчетах не фигурируют. Статистические неопределенности переменных учитываются соответствующим функциями распределения вероятностей. Получение указанных функций представляется отдельной сложной задачей, требующей своего решения. Нормативные документы, определяющие порядок вероятностных расчетов морских подводных трубопроводов, в настоящее время отсутствуют. Ввиду сложности и специфичности задачи представляется целесообразным вероятностные расчеты выделить в группу специальных расчетов. Такие расчеты могут проводиться в дополнение к проектным и поверочным расчетам для наиболее ответственных подводных трубопроводов, оснащенных системами мониторинга технического состояния и контроля нагруженности.

Особую группу поверочных расчетов составляют оценки опасности дефектов и повреждений трубопроводов. В зарубежной литературе такие оценки проводятся в рамках стратегии управления целостностью трубопроводов [27]. Данная стратегия включает обнаружение и идентификацию дефектов, и оценку их опасности в детерминированной и/или вероятностной постановке. Методы расчетов зависят от вида выявленных дефектов. Для объемных дефектов потери металла (коррозионные повреждения, расслоения) и вмятин, размеры которых по пространственным координатам имеют один порядок ($l_x \approx l_y \approx l_z$), расчеты проводятся с использованием условия прочности в виде:

$$L_d\{l; L_F(t), L_E(t); \gamma_F, \gamma_E\} \leq \Phi_d(R_n, A, F_d) \quad (8)$$

где Φ_d – предельная несущая способность трубопровода с дефектом; F_d – функция, учитывающая снижение несущей способности из-за наличия дефекта.

Методы оценки трубопроводов с коррозионными дефектами в форме (8) изложены в ряде зарубежных стандартов [28, 29]. Аналогичный подход использован в отечественных нормативных документах [30, 31]. Следует отметить, что расчеты по указанным стандартам дают разные оценки допустимых размеров дефектов в силу различий используемых схематизаций формы дефектов и видов функции F_d . Наименее консервативные оценки дает стандарт [20]. Использование указанных стандартов в отечественной практике осложнено отмеченными выше проблемами различий расчетных характеристик металла и необходимостью обоснований коэффициентов запаса.

Более перспективный и обоснованный подход к оценке опасности дефектов представлен в нормах [32]. Он основан на результатах отечественных фундаментальных и экспе-

риментальных исследований механики разрушения труб с коррозионными дефектами и механическими повреждениями. Особенность этого подхода заключается в использовании двухпараметрического деформационного критерия предельной прочности Θ_u и пластичности Θ_c в виде:

$$\Theta_u = (\varepsilon_i, \varepsilon_0, \varphi_\varepsilon) \leq 1, \Theta_c = (\varepsilon_i, \varepsilon_0) \leq 1 \quad (9)$$

где ε_i – интенсивность деформаций; ε_0 – объемная деформация; φ_ε – угол подобия деватора деформаций.

Особое достоинство критерия (9) заключается в том, что он может использоваться при оценках прочности как дефектных, так и бездефектных труб в условиях упругого и упругопластического деформирования.

Для трещин и трещиноподобных дефектов, размеры которых по одной из координат существенно меньше других размеров ($l_x \gg l_y \gg l_z$), расчеты проводятся с использованием критериев механики разрушения. При этом предпочтение отдается двухпараметрическим критериям. В настоящее время существует две концепции двухпараметрических критериев разрушения, основанных на критерии Е.М. Морозова [33] и критерии Dowling и Townley [34]. Методологически оба критерия связывают три базовые переменные: размер дефекта, вязкость разрушения и нагрузку, с двумя безразмерными параметрами – безразмерной трещиновдвигущей силой и безразмерными напряжениями. Исторически первым был сформулирован критерий Е.М. Морозова. Однако критерий Dowling и Townley получил более широкое распространение в литературе и вошел в стандарты [35, 36] расчета прочности трубопроводов с трещинами в виде диаграммы разрушения (failure assessment diagram – FAD):

$$f(K_r, L_r) \leq L_{max}, L_r = \frac{\sigma}{R_n}, K_r = \frac{K_{eff}}{K_{mat}}, L_{max} = \frac{R_y + R_u}{2R_y} \quad (10)$$

где σ – номинальные напряжения в трубопроводе; K_{eff} – эффективный коэффициент интенсивности напряжений; K_{mat} – расчетное предельное значение коэффициента интенсивности напряжений.

Критерий Е.М. Морозова представляется в виде диаграммы трещиностойкости, которая выражается в более простой форме [33]:

$$\left(\frac{\sigma}{R_n}\right)^\alpha + \left(\frac{K_I}{K_c}\right)^\beta = 1 \quad (11)$$

где K_I , K_c – коэффициент интенсивности напряжений для трещины и критический коэффициент интенсивности напряжений; α , β – эмпирические коэффициенты.

Диаграмма трещиностойкости (11) имеет ряд существенных преимуществ в сравнении с диаграммой разрушения (10) и обладает более широкими возможностями расчетов прочности трубопроводов с трещинами [37]. Поэтому при разработке отечественного стандарта по оценке опасности трещиноподобных дефектов следует основываться на диаграмме трещиностойкости Е.М. Морозова.

В заключении отметим, что для длительно эксплуатирующихся трубопроводов поверочные расчеты следует проводить с учетом процессов деградации и старения металла труб. Эти процессы приводят к изменениям основных механических характеристик металла: предела текучести σ_T ($\sigma_{0.2}$), временного сопротивления разрушению σ_B , относительного удлине-

ния δ . Поэтому вместо расчетных сопротивлений R_y, R_n необходимо использовать фактические характеристики $\sigma_T (\sigma_{0.2}), \sigma_B$, определенные в заданный момент времени [38].

Отдельная сложная задача нормативного регулирования связана с обоснованием безопасности ремонтных участков морских подводных трубопроводов. Ремонт трубопроводов проводится с целью усиления дефектных участков и/или повышения жесткости трубопроводов в местах локальных изгибов или свободных пролетов. Ремонт выполняется как с подъемом, так и без подъема трубопровода на поверхность. В настоящее время существует ряд быстродействующих ремонтных систем, различающихся конструкциями и технологиями их установки. Наиболее технологичным способом ремонта является установка усиливающих муфт. Процедура такого ремонта регламентирована в зарубежных стандартах [39, 40] и отечественном нормативном документе [41]. Тем не менее, многие вопросы расчетного обоснования ремонтов поврежденных морских подводных трубопроводов установкой усиливающих муфт в отечественной и зарубежной практике остаются не регламентированными.

Резюмируя изложенное, можно предложить следующую схему разработки стандартов и норм обеспечения прочности и безопасности морских подводных трубопроводов (рис. 2). Фундаментальной основой создаваемых стандартов и норм должна стать концепция научно-методического обеспечения, учитывающая современные отечественные и зарубежные теоретические и экспериментальные разработки. Данная концепция должна определять требования к проектным, проверочным и специальным расчетам. При этом проектные расчеты должны регламентироваться обязательными требованиями стандартов и норм. Проверочные и специальные расчеты, включающие более широкий спектр расчетных случаев, могут регламентироваться рекомендуемыми нормативными требованиями.

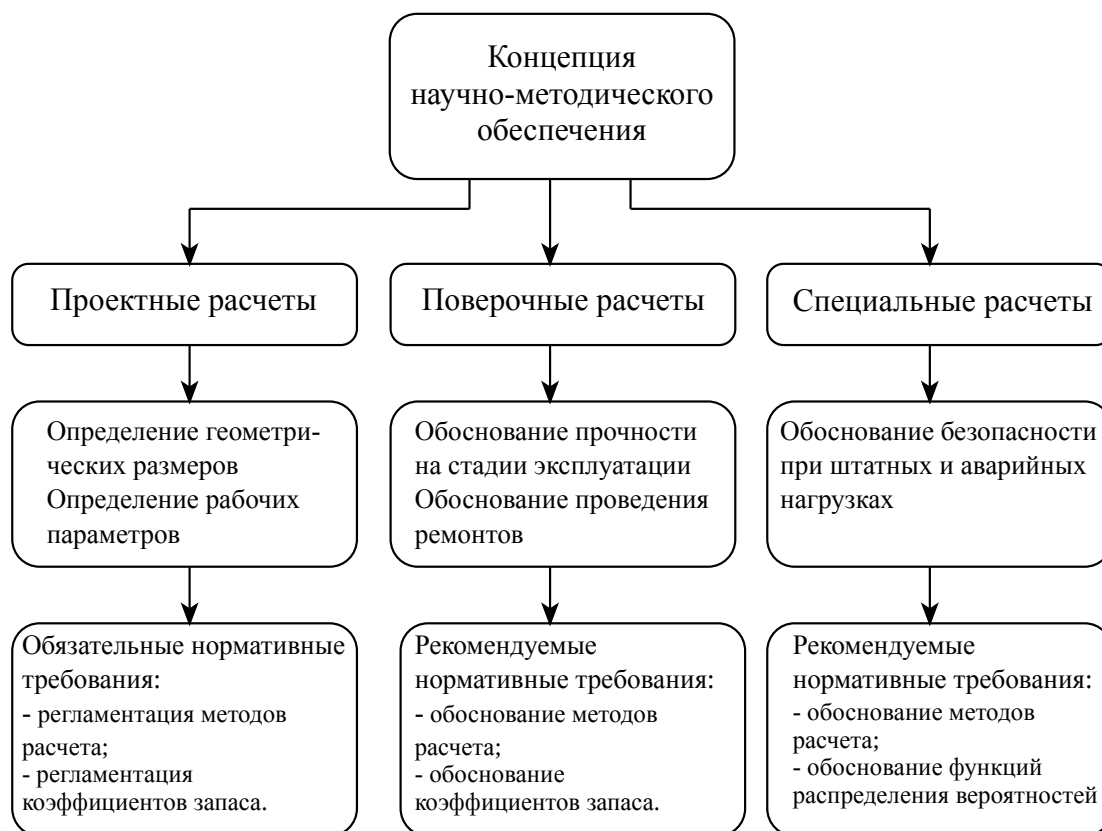


Рис. 2. Схема нормативного обеспечения расчетов прочности и безопасности морских подводных трубопроводов

Собственно систему расчетов следует рассматривать в виде трех уровней (Таблица). Первый, проектный уровень должны составлять методы проектирования, в которых соответствующие уровни прочности и безопасности морских подводных трубопроводов обеспечиваются расчетами по заданным предельным состояниям по формуле (1), с использованием системы частных коэффициентов запаса (безопасности). Значения этих коэффициентов могут корректироваться с учетом получения новых опытных данных, тем самым обеспечивая экономичность и безопасность трубопроводов. Результатом расчетов на этом уровне является обоснование геометрических размеров и рабочих параметров трубопроводов.

Таблица

Система расчетов морских подводных трубопроводов

Вид расчета	Методы расчета	Предельные состояния	Нормативное обеспечение
Проектные расчеты	Расчет прочности	ULS	ГОСТ Р 54382-2011, НД 2-020301-005, НД 2-090601-007, СТО Газпром 2-3.7-050-2006, СТО Газпром 2-3.7-069-2006, СП 378.1325800-2017
	Расчет долговечности	FLS	
	Расчет локальной устойчивости	ULS	
	Расчет общей устойчивости	ULS, SLS	
	Расчет на сейсмические воздействия	ULS	
Поверочные расчеты	Расчет прочности при аварийных нагрузках	ALS	Отечественные стандарты отсутствуют
	Динамический расчет свободных пролетов	ULS	
	Расчет опасности дефектов	ULS	
	Расчет прочности с учетом старения	ULS	
	Детерминированный расчет без-опасности	ULS	
Специальные расчеты	Вероятностный расчет прочности	ULS, ALS	Отечественные стандарты отсутствуют
	Вероятностный расчет долговечности	FLS, ALS	
	Расчет риска аварий	ALS	

Второй уровень расчетов должны составлять итерационные поверочные расчетные процедуры, формулируемые в детерминированной постановке. Указанные расчеты должны проводиться с использованием соотношений (3) – (6) и (8) – (11). Тем не менее, здесь могут учитываться классы вероятностей отказов трубопроводов через соответствующие коэффициенты безопасности. В указанных процедурах могут использоваться идеализированные модели области отказа и характеристики соответствующих переменных. Цель таких расчетов заключается в обосновании прочности трубопроводов с учетом их технического состояния и фактических нагрузок, и воздействий.

Третий уровень должны составлять специальные вероятностные методы оценки прочности и долговечности трубопроводов и риск-анализ на основе соотношения (7). Здесь должны использоваться вероятностные модели отказов с учетом истинного характера области отказа и функции распределения вероятностей расчетных величин и переменных. Конечным результатом вероятностных расчетов должно стать обоснование без-

опасности трубопроводов при штатных и аварийных нагрузках с оценкой защищенности от аварий по критериям риска аварий.

Исходя из представленной схемы в Таблице представлено текущее состояние нормативного обеспечения расчетов прочности и безопасности морских подводных трубопроводов. Как видно из этой таблицы, отечественными стандартами и нормами охвачены только проектные расчеты. Еще раз подчеркнем, что и в этом случае имеются существенные проблемы и разночтения методов и порядка проектных расчетов. Поверочные расчеты и специальные расчеты в настоящее время не имеют отечественной нормативной базы. Использование в этих областях зарубежных стандартов не имеет достаточных методологических и правовых оснований.

Заключение

Представленный выше анализ отечественных и зарубежных стандартов и норм проектирования морских подводных трубопроводов можно констатировать следующее. Существующие нормативные документы отражают накопленный опыт проектирования, строительства и эксплуатации трубопроводов и в целом обеспечивают достаточно высокий уровень надежности трубопроводов. Тем не менее, освоение арктического шельфа с уникальными природно-климатическими условиями, расширение диапазонов рабочих параметров, применение новых материалов и оборудования требуют постоянной корректировки стандартов и норм проектирования и эксплуатации трубопроводов.

В настоящее время в отечественной практике отсутствует концептуально согласованная система проектных, поверочных и специальных расчетов прочности и безопасности морских подводных трубопроводов. Используемые отечественные и зарубежные стандарты и нормы имеют разные концептуальные базы, с существенными методическими и терминологическими разночтениями. Прямой перенос положений зарубежных норм на отечественную практику проектирования и эксплуатации морских подводных трубопроводов представляется крайне проблематичным в силу различий базовых положений, нормативных характеристик механических свойств, коэффициентов запасов и условий эксплуатации. Существенным фактором, затрудняющим гармонизацию отечественных и зарубежных норм, является ярко выраженный дефицит научно-методологической базы.

Принимая это во внимание разрабатываемые стандарты должны основываться на действующей в Российской Федерации нормативно-технической стратегии, на отечественных фундаментальных научных исследованиях. Заимствуемые положения зарубежных стандартов должны иметь соответствующие обоснования на основе отечественного опыта технического диагностирования, эксплуатации и ремонтов морских подводных трубопроводов. Необходима разработка системы стандартов проектных, поверочных и специальных расчетов, с соответствующим механизмом ссылок на действующие нормы и технические регламенты.

Разрабатываемый комплекс стандартов должен быть ориентирован на управление жизненным циклом морских подводных трубопроводов, с учетом аспектов риска аварий. Стандарты должны обеспечивать сочетание требований прочности и безопасности с функциональными возможностями трубопроводов и затратами на проектирование, эксплуатацию и проведение ремонтных операций. Помимо этого, в стандартах должны быть регламентированы основные требования к эксплуатации морских подводных трубопроводов с использованием современных систем мониторинга, неразрушающего контроля, технического обслуживания и ремонта.

К разработке стандартов следует привлечь технических специалистов, имеющих опыт и знания в области проектирования и эксплуатации морских подводных трубопроводов, а

также в области средств мониторинга, обслуживания и технического диагностирования. Особенно важно учитывать отечественный опыт морских водолазных и подводно-технических работ по обследованию и ремонтам трубопроводов.

Литература

1. Бородавкин П.П., Березин В.Л., Шадрин О.Б. Подводные трубопроводы. – М.: Недра. - 1979. – 416 с.
2. Горяинов Ю.А., Федоров А.С., Васильев Г.Г. и др. Морские трубопроводы. – М.: Недра-Бизнесцентр. - 2001. – 132 с.
3. Bay Y., Bay Q. Subsea pipeline integrity and risk management. New York: Elsevier. - 2014. 405 p.
4. Bay Q., Bay Y. Subsea pipeline design, analysis and installation. New York: Elsevier. - 2014. 809 p.
5. СНиП II-45-75 Строительные нормы и правила. Магистральные трубопроводы. М.: Госстрой. - 1975. – 86 с.
6. Р 412-81 Рекомендации по проектированию и строительству морских подводных нефтегазопроводов. М.: ВНИИСТ. - 1981. – 110 с.
7. ВСН 51-9-86. Проектирование морских подводных нефтегазопроводов. – М., Мингазпром. - 1987. – 42 с.
8. ВН 39-1.9-005-98. Ведомственные нормы. Нормы проектирования и строительства морского газопровода. М.: ИРЦ Газпром. - 1998. – 32 с.
9. СТО Газпром 2-3.7-050-2006. Морской стандарт DNV-OS-F101. Подводные трубопроводные системы. – М.: ИРЦ Газпром. - 2006. – 430 с.
10. СТО Газпром 2-3.7-069-2006. Расчет устойчивости на дне подводных трубопроводов. – М.: ИРЦ Газпром. - 2006. – 43 с.
11. ГОСТ Р 54382–2011 Подводные трубопроводные системы. Общие технические требования. – М.: Стандартиформ. - 2012. – 270 с.
12. DNV-OS-F101 Submarine pipeline systems. Det Norske Veritas AS. - 2013. – 372 p.
13. DNV-OS-F109 On-bottom stability design of submarine pipelines. Det Norske Veritas AS. - 2010. – 41 p.
14. СП 378.1325800.2017 Свод правил. Морские трубопроводы. Правила проектирования и строительства. М.: Стандартиформ. - 2018. – 36 с.
15. НД 2-020301-005 Правила классификации и постройки морских подводных трубопроводов. Санкт-Петербург. - 2017. – 178 с.
16. НД 2-090601-007 Рекомендации по проектированию, постройке и эксплуатации морских подводных трубопроводов. Санкт-Петербург. - 2019. – 101 с.
17. DNVGL-ST-F101 Submarine pipeline systems. Det Norske Veritas AS. - 2017. – 521 p.
18. DNV-RP-F105 Free spanning pipeline. Det Norske Veritas AS. - 2002. – 39 p.
19. DNV-RP-F108 Fracture control for pipeline installation methods introducing cyclic plastic strain. Det Norske Veritas AS. - 2002. – 24 p.
20. DNV-RP-F101 Corroded pipelines. Det Norske Veritas AS. - 2002. – 42 p.
21. ASME B31.8-2007. Gas Transmission and Distribution Piping Systems. The American Society of Mechanical Engineers. - 2007. – 202 p.
22. ASME B31.4-2006 Pipeline Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons and Other Liquids. The American Society of Mechanical Engineers. - 2007. – 107 p.
23. BS EN 14161:2011 Petroleum and natural gas industries. Pipeline transportation systems British-Adopted European Standard. - 2011. – 96 p.
24. ISO 13623-2017 Petroleum and natural gas industries – Pipeline transportation systems. - 2017. – 89 p.
25. СП 36.13330.2012 Магистральные трубопроводы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.06-85*. – М.: Госстрой, ФАУ «ФЦС». - 2013. – 93 с.
26. Москвичев В.В., Махутов Н.А., Шокин Ю.И., Лепихин А.М. и др. Прикладные задачи конструкционной прочности и механики разрушения технических систем. Новосибирск: Наука. - 2021. – 796 с.

27. Escoe A.K. Piping and pipelines. Assessment guide. Elsevier. - 2006. – 573 p.
28. ASME B31G-2009. Manual for determining the remaining strength of corroded pipelines. ASTM. - 2009. – 58 p.
29. API 579-1/ASME FFS-1 Fitness for service. ASME/API. - 2016. – 1320 p.
30. РД-23.040.00-КТН-115-11. Нефтепроводы и нефтепродуктопроводы магистральные. Определение прочности и долговечности труб и сварных соединений с дефектами / ОАО ЦТД «Диаскан», ООО «НИИ ТНН». М.: ОАО «АК «Транснефть». - 2013. 142 с.
31. СТО Газпром 2-2.3-112-007. Методические указания по оценке работоспособности участков магистральных газопроводов с коррозионными дефектами. М.: ИРЦ «Газпром». - 2007. 39 с.
32. ВРД 39-1.10-004-99 Методические рекомендации по количественной оценке состояния магистральных газопроводов с коррозионными дефектами, их ранжирование по степени опасности и определению остаточного ресурса. ОАО «Газпром». - 2000. – 44 с.
33. Морозов Е.М., Фридман Я.Б. Анализ трещин как метод оценки характеристик разрушения // Заводская лаборатория. - 1966. - №8. – С. 977-984.
34. Downing A.R., Townley C.H.A. The effect of defects on structural failure: A two-criteria approach // International journal of pressure vessels and piping. - 1975, V.3, Issue 2, p. 77-107.
35. BS7910:2013. Guide to methods for assessing the acceptability of flaws in metallic structures. 480 p.
36. SINTAP (1999), Structural Integrity Assessment Procedure. Final Revision. EU-Project BE 95–1462. 231 p.
37. Лепихин А.М., Морозов Е.М., Махутов Н.А., Лещенко В.В. Возможности оценки вероятностей разрушения и допустимых размеров дефектов по критериям механики разрушения // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. - 2022. Т. 88, №3. – С. 41-50.
38. Лисин Ю.В., Махутов Н.А., Неганов Д.А., Варшицкий В.М. Комплексный анализ запасов прочности трубопроводов и базовых механических свойств трубных сталей // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. - 2017. №1(28). – С. 30-38.
39. ASME PPC-2-2018 Repair of pressure equipment and piping. ASME. - 2018. – 294 p.
40. DNV-RP-F113 Pipeline subsea repair. Det Norske Veritas AS. - 2007. – 46 p.
41. СТО Газпром 2-2.3-335-2009 Инструкция по ремонту дефектных участков трубопроводов стеклопластиковыми муфтами с резьбовой затяжкой. М.: Газпром. - 2009. – 43 с.

Сведения об авторах

Махутов Николай Андреевич, главный научный сотрудник, Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, 101000, Москва, Малый Харитоньевский переулок, д. 4, e-mail: kei51@mail.ru

Лепихин Анатолий Михайлович, главный научный сотрудник Федерального научного центра информационных и вычислительных технологий, Россия, 630090, г. Новосибирск, пр-т Академика М.А. Лаврентьева, ведущий эксперт НТЦ «Нефтегаздиагностика», Россия, 105066, г. Москва, ул. Нижняя Красносельская, 40/12, к. 4, e-mail: aml@ict.nsc.ru

Лещенко Виктор Викторович, генеральный директор НТЦ «Нефтегаздиагностика», Россия. 105066, г. Москва, ул. Нижняя Красносельская, 40/12, к. 4, e-mail: tom66@inbox.ru

ПРАВИЛА**направления, опубликования и рецензирования научных статей
для публикации в Научном информационном сборнике
«Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций»**

1. К рассмотрению принимаются рукописи, отражающие результаты оригинальных исследований. Содержание рукописи должно относиться к тематике журнала, соответствовать современному научному уровню, обладать определенной научной новизной и представлять интерес для широкого круга читателей научного сборника.

В сборнике публикуются материалы по комплексным проблемам научных исследований и разработок в области безопасности и чрезвычайных ситуаций и подготовки специалистов высшей квалификации по ним. Подробная рубрикация тематики сборника представлена на сайте ВИНТИ РАН.

Сборник включен в Перечень рецензируемых журналов, в которых рекомендуется публикация результатов научных исследований в диссертациях на соискание ученой степени доктора и кандидата наук (Перечень ВАК). Названия научных специальностей, по которым в сборнике могут представляться результаты научных исследований, перечислены в указанном Перечне ВАК.

2. Опубликованные материалы, а также рукописи, находящиеся на рассмотрении в других изданиях, к публикации не принимаются.

3. Редакционная коллегия и рецензенты принимают на себя обязательство ограничить круг лиц, имеющих доступ к присланной в редакцию рукописи.

4. Рукопись должна содержать постановку задачи, исследование, перечень источников и выводы (или заключение).

5. К рассмотрению принимаются рукописи объемом не более одного авторского листа (авторский лист содержит 40 тыс. знаков, включая пробелы). Статья принимается для рассмотрения по электронной почте.

6. Рукопись статьи должна быть представлена в следующем составе и последовательности:

- сведения об издании, в котором публикуется статья на русском и английском языках;
- название раздела на русском и английском языках;
- данные о типе статьи на русском и английском языке (научные, обзорные, редакционные, о персоналиях).
- индекс Универсальной десятичной классификации (УДК);
- цифровой идентификатор объекта - Digital Object Identifier, сокр. doi (устанавливается редакцией);
- название (заглавие) статьи;
- подзаголовочные данные статьи;
- сведения об авторе (авторах) на русском и английском языке (ФИО, наименование организации (подразделения), электронный адрес автора, ORCID ученого, если имеется); в названии организации опускается указание на организационную структуру.

Сведения об авторе на английском языке приводятся полностью, отчество сокращают до одной буквы (в некоторых случаях до двух букв).

Если автор работает (учится) в нескольких организациях, приводятся сведения о каждом месте работы (учебы) после фамилии автора.

Если авторов более четырех, в первой полосе статьи разрешается приводить сведения об одном авторе, ответственном за переписку. Данные об остальных авторах приводятся в конце статьи после списка источников.

- аннотация (резюме) не более 250 слов на русском и английском языке;
- ключевые слова (словосочетания) на русском и английском языке (от 3 до 15 слов);
- благодарности на русском и английском языке (если требуются);
- знак охраны авторского права;
- текст статьи;
- список источников – не менее 10 источников, но не более 20 источников; рекомендовано использование зарубежных источников.

Список источников приводится на русском, затем на английском языке, как это предусмотрено ГОСТ Р 7.0.5-2021. Решением редакции из-за определенных трудностей временно допускается не приводить список на английском языке.

При использовании источников на английском языке, в списке источников они дублируются в русском и английском варианте;

– сведения о продолжении или окончании статьи (при публикации статьи частями в нескольких выпусках издания части должны быть пронумерованы, и у всех частей следует указывать общее заглавие статьи. Если части имеют, помимо общего, частное заглавие, то его приводят после обозначения и номера части);

– приложение (приложения), если необходимо;

– примечания.

– подписи авторов, с указанием даты отправления рукописи.

Дополнительно могут быть приведены на русском и английском языке:

– сведения о вкладе каждого автора, если статья имеет несколько авторов;

– указание об отсутствии или наличии конфликта интересов (его детализация).

7. Рукопись должна быть представлена на электронном носителе, в программе Microsoft Word, шрифт Time New Roman, кегль 14, междустрочный интервал 1,5, расположение в одну колонку).

Текст и каждый рисунок должны быть представлены отдельными файлами:

– текста статьи – в формате DOCX, имя файла статьи должно состоять из фамилии первого автора в латинской транслитерации (Smirnov.docx);

– рисунки – в одном из форматов: TIF, JPG. Имя файла каждого рисунка должно состоять из фамилии первого автора в латинской транслитерации, дополненного знаком «подчеркивание» и номером рисунка в статье (Smirnov_1.tif и т.д.).

8. При написании математических формул, подготовке графиков, диаграмм, блок-схем не допускается применение размеров шрифтов менее № 8 (за исключение индексов). Таблицы, рисунки и формулы являются частью текста и должны допускать электронное редактирование. Сложные математические формулы должны быть представлены как встроенные в Word объекты Microsoft Equation (Math Type).

9. К рукописи статьи прилагается экспертное заключение о возможности публикации статьи в открытой печати, заверенное подписью и печатью, и личное заявление авторов о присоединении к Публичным правилам передачи исключительных прав на статьи для опубликования в научных изданиях ВИНТИ РАН.

10. Издание осуществляет рецензирование и проверку оригинальности по программе Антиплагиат всех поступающих в редакцию материалов с целью их экспертной оценки. Оригинальность представленных статей должна быть не менее 75%. К рецензированию могут привлекаться члены Редакционной коллегии.

11. Редакция издания направляет авторам представленных материалов копии рецензий или мотивированный отказ в публикации, а также обязуется направлять копии рецензий в Министерство образования и науки Российской Федерации при поступлении в редакцию сборника соответствующего запроса.

**Рукописи, не соответствующие указанным требованиям,
редакцией не рассматриваются**

12. Все публикации в сборнике бесплатные. Авторские и дополнительные экземпляры научных сборников заказываются за плату.

13. Полные тексты статей сборника публикуются с отставанием на 12 мес. с момента выхода из печати и находятся в свободном доступе на сайте ВИНТИ РАН (Раздел «Издания и продукты»). URL: <http://www.viniti.ru/products/publications/pub-132961>

14. Полное содержание журнала и метаданные статей (по мере выхода) находятся в доступе на сайте Научной электронной библиотеки (НЭБ). – URL: https://elibrary.ru/title_about_new.asp?id=9963

15. Пример оформления статьи приведен в приложении к настоящим Правилам.

Научный информационный сборник. «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций». 2022. № 2, С. 5-15.

Safety and emergencies problems. 2022; (2): 5-15.

Научно-теоретические и инженерно-технические разработки

Научная статья

УДК 620.178+539.43

DOI: 10.36535/0869-4176-2022-02-1

ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ФАКТОРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ КОНТАКТНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НАГРУЖЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Николай Андреевич Махутов, Михаил Матвеевич Гаденин

(Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, Москва, Россия)

kei51@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8695-9153>

safety@imash.ru [https://orcid.org/ 0000-0002-1609-3868](https://orcid.org/0000-0002-1609-3868)

Аннотация. Отмечается, что процессы механических повреждений контактно взаимодействующих несущих элементов часто являются источником техногенных отказов, аварий и катастроф. Показано, что такие процессы определяются уровнем контактных и неконтактных внешних нагрузок, формой контактирующих тел, сопротивлением деформированию и разрушению взаимодействующих конструкционных материалов, воздействиями окружающей природной среды. Опасность таких ситуаций сопряжена с процессами трения, износа, схватывания и трещинообразования не только в локальных зонах контакта, но и последующего магистрального разрушения. Приведены результаты выполненного углубленного анализа термомеханических эффектов для обоснования долговечности безопасной эксплуатации элементов инженерных систем в условиях их контактных взаимодействий.

Ключевые слова: контактные взаимодействия, повреждение, трещина, шероховатость, долговечность, безопасность эксплуатации, аварии, катастрофы.

Для цитирования: Махутов Н.А., Гаденин М.М. Определяющие факторы безопасности технических систем в условиях контактных взаимодействий нагруженных элементов// Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2022, №2, С. 5-15. doi:

Scientific-Theoretical and Technical-Engineering Research & Developments

Scientific article

GOVERNING FACTORS OF SAFETY OF TECHNICAL SYSTEMS AT THE CONDITIONS OF CONTACT INTERACTIONS OF LOADED PARTS

Nikola . A. Makhutov, Mihail. M. Gadenin (The A.A. Blagonravov Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia)

kei51@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8695-9153>

safety@imash.ru [https://orcid.org/ 0000-0002-1609-3868](https://orcid.org/0000-0002-1609-3868)

Abstract. It is noted that processes of mechanical damages of the contact interacting bearing elements often are a source of technogenic refusals, accidents and disasters. It is shown that such processes are defined by the level of contact and not contact external loadings, the forms of the contacting bodies, resistance to a deformation and fracture of the interacting constructional materials, impacts of surrounding

environment. Danger of such situations is accompanied with processes of friction, wear and initiation of cracks not only in local zones of contact, but also the subsequent main fracture. Results of the made profound analysis of thermomechanical effects for justification of a fatigue life of safe service of parts of engineering systems in the conditions of their contact interactions are given.

Keywords: contact interactions, damage, crack, roughness, fatigue life, safety of service, accident, disaster.

Vor citation: N. A. Makhutov, M. M. Gadenin Governing factors of safety of technical systems at the conditions of contact interactions of loaded parts // Safety and emergencies problems. 2022; (2): 5-15. (In Russ.). doi: 11.22203/1998-033X.0.2022.3.15-28.

ТЕКСТ СТАТЬИ

©Махутов Н.А., Гаденин М.М. 2022

Список источников

1. Горячева И.Г. Механика фрикционного взаимодействия. – М.: Наука. - 2001. – 478 с.

References

1. Goryacheva I.G. Mechanics of frictional interaction. – M.: Nauka. - 2001. - 478

Информация об авторах

Махутов Н.А. – доктор технических наук, главный научный сотрудник,
Гаденин М.М. – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник

Information about the author

Makhutov N.A. – Doctor of Science in Engineering,
Gadenin M.M. – Candidate of Sciences in Engineering.

Статья поступила в редакцию 08.01.2022, одобрена после рецензирования 08.02.2022, принята к публикации 20.02.2022.

The article was submitted 08.01.2022, approved after reviewing 08.02.2022, accepted for publication 20.02.2022.

Вклад авторов (если более одного): все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors' contribution: All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The authors declare that there is no conflict of interest.

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 по адресу:

125190, Россия, г. Москва, ул. Усиевича, 20,

Телефоны: 8 (499) 152-08-10; 8(499) 155-42-85
8 (499) 151-78-61;

E-mail: feo@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 по адресу:

125190, Россия, г. Москва, ул. Усиевича, 20,

Телефоны: 8 (499) 152-08-10; 8(499) 155-42-85
8 (499) 151-78-61;

E-mail: feo@viniti.ru

Научный информационный сборник «ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ»

Предназначен для руководителей и специалистов государственных служб, научных организаций и промышленных предприятий, которые занимаются безопасностью населения, территорий и промышленных объектов, а также для преподавательского состава по подготовке кадров всех уровней в области обеспечения безопасности в различных сферах деятельности.

Научный информационный сборник издается Всероссийским институтом научной и технической информации (ВИНИТИ) при участии МЧС России с 1990 г. с периодичностью 6 номеров в год, объемом 12 авт. листов каждый, ISSN 0869-4176.

В состав редколлегии входят ведущие специалисты в области проблем безопасности институтов и организаций РАН, МЧС России, Минатома России, Минюста России, Ростехнадзора России, Минэкономразвития России и других министерств и ведомств России.

Сборник является междисциплинарным научно-техническим изданием в данной области. За 30 лет существования журнала сложился высококвалифицированный авторский коллектив из специалистов различных отраслей науки и промышленности.

Решением Президиума ВАК Минобрнауки России научно-информационный сборник "Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций" включён в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёных степеней доктора и кандидата наук.

В журнале освещаются:

- основы государственной политики в области безопасности;
- правовое регулирование в области предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций;
- обзор теоретических и практических методов оценки риска различных объектов и прогнозирования ЧС; управление рисками различных категорий; страхование;
- научно-теоретические и инженерно-технические разработки в области проблем безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций; проблемы безопасности транспортных систем;
- организация служб гражданской защиты и комплексной безопасности населения; проблемы безопасности личности, общества и государства;
- подготовка специалистов для государственных служб безопасности, преподавательского состава и учащихся высших и средних учебных заведений по дисциплинам: "Безопасность жизнедеятельности", "Пожарная безопасность" и "Экология";
- международное сотрудничество в области безопасности;
- информационная безопасность;
- проблемы "Медицины катастроф";
- статистические данные о чрезвычайных ситуациях в России и за рубежом; информация о конгрессах, семинарах, совещаниях и выставках, а также о новых изданиях по проблемам безопасности и чрезвычайных ситуаций.

Более подробно о журнале можно узнать на сайте по адресу <http://www.viniti.ru>.

По вопросу публикаций обращаться по: телефону (499) 155-44-26; E-mail: tranbez@viniti.ru.

Периодичность журнала - 6 номеров в год, **индекс 55431** по Каталогу Роспечати "Издания органов научно-технической информации".

Оформить подписку на информационные издания ВИНИТИ РАН, а также заключить договоры на приобретение реферативного журнала в электронной форме (ЭлРЖ) Вы можете по адресу:

125190, Россия, г. Москва, ул. Усиевича, 20,

Телефоны: 8 (499) 152-08-10; 8 (499) 155-42-85;

8 (499) 151-78-61;

E-mail: feo@viniti.ru

Научный информационный сборник зарегистрирован в Роскомнадзоре:
Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-57408 от 24 марта 2014 г.

Подписано в печать 01.08.2022 г. Формат 60x84 1/8

Печать цифровая. Бум. офсетная. Усл. печ. л. 14,25 Уч.-изд. л. 12,29 Тираж 79 экз.

Адрес редакции: 125190, Москва, ул. Усиевича, д. 20

Тел. 8 (499) 155-44-21, e-mail: tranbez@viniti.ru

Отпечатано в ООО «Типография Форпринт»

г. Москва, ул. Маршала Бирюзова, д. 1, корп. 11. Тел. +7 (495) 211-38-33