



ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 620:614.842

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ПРЕКРАЩЕНИЯ ГОРЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ю.В. Спичкин, А.В. Калач, Ю.Н. Сорокина

Приведено описание и оценка применимости современных физико-химических представлений об особенностях прекращения горения дисперсными веществами. Рассмотрены механизмы тушащего действия порошковых, твердотопливных аэрозольобразующих огнетушащих составов.

Ключевые слова: горение, дисперсные материалы, теплоотведение, тушение.

Введение. Использование огня – неопределимое благо, но огненная стихия несет в себе неисчерпаемые бедствия. На протяжении тысячелетий люди борются с этой стихией, изыскивая новые, все более эффективные способы прекращения горения. Горению, весьма специфическому и сложному физико-химическому процессу, присущ самоподдерживающийся характер, в силу чего прекращение горения можно достичь созданием условий, при которых самопроизвольное протекание процесса становится невозможным.

Согласно тепловой теории прекращения горения нарушение условий теплового равновесия в зоне протекания реакций горения приводит к тому, что процесс горения прекращается [1–4].

Нарушение теплового равновесия в зоне химических реакций горения можно осуществить

либо снижением интенсивности тепловыделения $q_{\text{выд}}$ в зоне горения, либо повышением интенсивности теплоотвода $q_{\text{отв}}$ до тех пор, пока температура в зоне химических реакций не снизится до температуры прекращения горения.

Необходимо отметить, что температура прекращения горения $T_{\text{пг}}$ не является строго постоянной величиной, а определяется ходом температурных зависимостей $q_{\text{выд}}$ и $q_{\text{отв}}$, присущих конкретной горючей системе.

Интенсивность теплоотведения $q_{\text{выд}}$ можно выразить уравнением:

$$q_{\text{выд}} = Q_c V v, \quad (1)$$

где Q_c – теплота сгорания горючего вещества; V – объем горючей системы; v – скорость реакции горения.

Выражение (1) с учетом температурной зависимости скорости реакции горения можно записать в виде:

$$q_{\text{выд}} = Q_c V K_0 P_c^m P_{\text{ок}}^n e^{-E_a/RT}, \quad (2)$$

где K_0 – предэкспоненциальный множитель при константе скорости химической реакции; P_c и $P_{\text{ок}}$ – давления (концентрации) горючего и окислителя; m , n – частные порядки реакции по горючему веществу и окислителю; E_a – энергия активации реакции; R – универсальная газовая постоянная; T – температура реакционной системы.

Интенсивность теплоотвода из зоны горения может быть описана выражением:

Спичкин Юрий Васильевич, д-р хим. наук, проф.,
Воронежский институт ГПС МЧС России;
Россия, г. Воронеж

Калач Андрей Владимирович, д-р хим. наук, доц.,
Воронежский институт ГПС МЧС России;
Россия, г. Воронеж, тел.: (473) 236-33-05,
e-mail: AVKalach@gmail.com

Сорокина Юлия Николаевна, канд. тех. наук, доц.,
Воронежский институт ГПС МЧС России;
Россия, г. Воронеж, e-mail: sorokina-jn@mail.ru

© Спичкин Ю.В., Калач А.В., Сорокина Ю.Н., 2014

$$q_{\text{отв}} = \varepsilon \sigma S_n T^4 + \alpha S_k (T - T_0), \quad (3)$$

где ε - степень черноты излучающего тела; σ - постоянная Стефана – Больцмана; S_n - площадь поверхности излучения; α - коэффициент теплопередачи; S_k - площадь теплообмена; T_0 - температура окружающей среды.

Из условия теплового равновесия получим уравнение:

$$Q_c V K_0 P_z^m P_{ок}^n e^{-E_a/RT} = \varepsilon \sigma S_n T^4 + \alpha S_k (T - T_0), \quad (4)$$

решив которое относительно T можно найти температуру прекращения горения $T_{пз}$. Ниже этой температуры интенсивность теплоотвода превышает интенсивность теплоотведения, т.е. создаются условия для прекращения процесса горения.

Следует отметить, что строгое аналитическое решение уравнения (4) связано с серьезными трудностями, которых можно избежать, находя $T_{пз}$ графически как проекцию на ось температур точки пересечения $q_{\text{выд}} = f(T)$ и $q_{\text{отв}} = f(T)$. Однако не это главное. Главное в том, что анализ уравнения (4) указывает на существование целого ряда способов влияния на процесс горения в направлении его прекращения. Эти способы можно разделить на две группы: приводящие к уменьшению тепловыделения в зоне горения и повышающие теплоотвод из этой зоны.

Снизить интенсивность тепловыделения можно физическим или химическим торможением реакций горения. Физическое торможение реакций горения достигается следующими способами: разбавлением горючей системы, изоляцией горючего вещества от окислителя, охлаждением горючей системы, огнепреграждением, сбиванием факела пламени и т.д. Химического торможения реакций горения добиваются введением в зону горения химически активных ингибиторов, аэрозольных огнетушащих составов и др.

Увеличения интенсивности теплоотвода можно достичь повышением коэффициента теплопередачи, увеличением поверхности теплоотвода, снижением температуры окружающей среды и т.д.

Механизм прекращения горения под действием порошковых огнетушащих составов. Считается, что наиболее эффективным средством прекращения горения являются огнетушащие вещества, одновременно реализующие несколько способов прекращения горения. К числу таких веществ следует, прежде всего, отнести порошки негорючих материалов, обладающие рядом преимуществ перед другими огнетушащими веществами и применяемые для тушения практически всех видов пожаров.

Огнетушащие порошки представляют собой мелкодисперсные негорючие материалы (минеральные соли и оксиды) с различными добавками, препятствующими их слеживанию и комкованию [5–9].

Основой для огнетушащих порошков

являются фосфорно-аммонийные соли $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ и $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, карбонат натрия (Na_2CO_3) и гидрокарбонат натрия (NaHCO_3) , хлорид калия (KCl) и др.

В качестве добавок используют высокодисперсный диоксид кремния SiO_2 , стеараты металлов, тальк и др.

Номенклатура современных порошковых огнетушащих составов (ПОС) велика и включает ПОС общего и специального назначения. ПОС общего назначения используются для тушения сжиженных газов, горючих жидкостей, твердых органических веществ, склонных к газификации. Действие этих составов основано на создании порошкового облака. ПОС специального назначения предназначены для тушения щелочных и щелочно-земельных металлов и их сплавов путем изоляции горячей поверхности от воздуха.

Основными достоинствами ПОС являются их высокая огнетушащая способность, универсальность применения, возможность использования при отрицательных температурах, а также способность тушения электрооборудования, находящегося под высоким напряжением [5, 9, 10].

Главный недостаток ПОС состоит в их склонности к слеживанию и комкованию. Кроме того, порошки не обладают выраженным охлаждающим действием, поэтому для охлаждения раскаленных поверхностей прибегают к комбинированному тушению порошковыми и другими средствами (водой или пеной) для исключения возможности повторного воспламенения.

Механизм огнетушащего действия порошков является комбинированным и связан со следующими видами воздействия на процесс горения:

- разбавление горючей среды газообразными продуктами разложения порошка или непосредственно порошковым облаком;
- изоляция горячей поверхности от окислителя;
- огнепреграждение - гашение пламени в узких каналах между частицами порошкового облака;
- ингибирование цепных реакций горения по гомогенному и гетерогенному механизмам.

Об условности и относительности такого деления и о том, что чаще всего ПОС воздействуют на процесс прекращения горения комбинированным способом – совокупностью нескольких или даже всех перечисленных видов воздействия, говорится во многих работах [1, 5, 9]. Поэтому правильнее считать, что при использовании любых ПОС действуют все перечисленные механизмы огнетушения, только проявляются они в разной степени и с разным вкладом в общий эффект прекращения процесса горения. Основная трудность состоит в установлении главного (доминирующего) механизма огнетушащего действия порошков. Это обусловлено тем, что данный механизм может быть разным в зависимости от особенностей конкретно-

го процесса горения, способа и интенсивности подачи порошка в зону горения.

Можно констатировать, что до настоящего времени механизм огнетушащего действия порошков остается до конца неясным – споры о доминирующем факторе прекращения горения не утихают до сих пор. Большинство исследователей считают, что основную роль в порошковом огнетушении играет ингибирование реакции горения [3–7]. На основании твердо установленного факта, что с повышением степени дисперсности порошков растет их огнетушащая способность, делается вывод о доминировании гетерогенного механизма ингибирования реакции горения, заключающегося в обрыве цепей и гибели активных центров на поверхности частиц порошка.

Механизм гетерогенного ингибирования реакции горения, как и гомогенного, несомненно, реализуется при применении ПОС, хотя бы потому, что их просто нельзя исключить. Авторитетные специалисты, особо выделяя ингибирующее огнетушащее действие порошков, не придают должного значения другим, в частности чисто тепловому воздействию ПОС на процесс горения [5–7]. Однако совершенно очевидно, что при введении в зону горения ПОС отбирают от нее часть тепла на разогрев частиц порошка. Это происходит независимо от их химического воздействия на реакцию горения, которое реально возможно и в ряде случаев весьма значительно. В этом плане весьма показательным является то, что если заменить один из наиболее эффективных огнетушащих порошков типа Моппех на тонкотолченый кирпич или сильно сыпучий сухой цемент, то требуемый удельный расход кирпича или цемента для тушения пламени будет всего на 20–30% больше, чем дорогостоящего огнетушащего порошка [9].

Даже самые общие теоретические представления о способах прекращения горения позволяют делать вполне определенные выводы о механизме огнетушащего действия порошков. Не вдаваясь в механизм ингибирующего действия порошков, можно говорить об уменьшении интенсивности тепловыделения – замедлении скорости реакций горения при подаче в зону горения ПОС. С меньшей уверенностью можно говорить об ускорении теплоотвода из зоны горения при введении в нее порошков. По закону теплопередачи количество теплоты, которое отнимает от горячего газа твердое тело, (частицы порошка) определяется по формуле:

$$Q_{\text{отв}} = \sum_i^n S_i \alpha (T_{\text{ном}} - T_{\text{пор}}) \tau, \quad (5)$$

где $\sum_i^n S_i$ – суммарная площадь поверхности частиц порошка; α – коэффициент теплопередачи от газа к твердой поверхности; $T_{\text{пот}}$ – температура потухания; $T_{\text{пор}}$ – температура частицы порошка;

τ – время пребывания частицы в зоне горения.

Коэффициент теплопередачи α связан с другими теплофизическими параметрами соотношением:

$$\alpha = \frac{\text{Nu} \lambda}{d}, \quad (6)$$

где Nu – безразмерный критерий Нуссельта, характеризующий интенсивность конвективного теплообмена между поверхностью твердого тела и газом; λ – коэффициент теплопроводности газа; d – размер (диаметр) частицы.

Повышение степени дисперсности огнетушащего порошка вызывает увеличение суммарной площади поверхности частиц $\sum_i^n S_i$ и коэффициента

теплопередачи α , что, в свою очередь, повышает интенсивность теплоотвода из зоны горения.

Нельзя упускать из виду еще одну возможность теплоотвода от пламени, связанную с применением огнетушащего порошка. Источниками теплового излучения в пламени являются не только нагретые газы, но и дисперсные твердые частицы, причем излучение происходит с поверхности этих частиц.

Частицы огнетушащего порошка, нагреваясь в зоне горения, начинают испускать со своей поверхности тепловое излучение, мощность которого пропорциональна общей площади их поверхности. Увеличение степени дисперсности порошка приводит к огромному увеличению площади их поверхности, а следовательно, к повышению интенсивности отвода тепла от пламени за счет теплового излучения с поверхности частиц порошка.

До последнего времени было принято считать, что у большинства веществ преобладает одно из огнетушащих свойств. Другие воздействия на процесс горения проявляются значительно слабее. Только в последние годы пришло понимание того, что вполне реальным является достижение синергетического эффекта – взаимного усиления различных механизмов огнетушащего воздействия [1, 9].

Синергетический эффект проявляется в том, что результат совместного действия превышает простую сумму этих воздействий, т.е. не выполняется правило аддитивности – простого сложения. Этот эффект особенно заметно проявляется при комбинированном действии нескольких огнетушащих веществ с различными механизмами прекращения горения. Так, несомненный интерес представляет совместное применение хладонов и ПОС. Такие «комбинированные составы» получают пропиткой огнетушащих порошков жидкими хладонами. К ним относится, например, состав СИ-2 – порошок силикагеля, обработанный хладоном 114В2 [1]. Весьма перспективным представляется создание «смесевых» огнетушащих порошков, составные компоненты которых обладают разными доминирующими механизмами прекращения горения.

Механизм прекращения горения под действием аэрозолеобразующих огнетушащих составов. Наиболее эффективным комбинированным способом прекращения горения является аэрозольное пожаротушение, которое основано на применении твердотопливных аэрозолеобразующих огнетушащих составов (ТАОС) [3, 11]. ТАОС являются качественно новым видом комбинированного газопорошкового (аэрозольного) пожаротушения, заключающимся в заполнении защищаемого объема тонкодиспергированным огнетушащим составом, образующимся при сжигании твердотопливной композиции [3, 11]. Бурное развитие этого способа прекращения горения обусловлено стремлением повысить эффективность действия порошков за счет повышения степени их дисперсности и устранения главного недостатка ПОС – слеживаемости и комкования.

ТАОС представляет собой систему специально подобранных веществ и технологических добавок, в которой после активирующего воздействия (воспламенения) начинает протекать реакция горения, в результате чего образуется и подается в защищенный объем огнетушащий аэрозоль: смесь инертных газов (азот, углекислый газ) и твердых негорючих частиц микронных размеров. Огнетушащие заряды ТАОС задействуются в специальных устройствах – генераторах огнетушащего аэрозоля (ГОА), обеспечивающих получение аэрозоля по принципу дымовой шапки.

Следует отметить, что наряду с несомненными достоинствами:

- высокая огнетушащая эффективность – в несколько раз выше, чем у огнетушащих порошков и инертных газов;

- широкий диапазон условий эксплуатации – температуры от -60°C до $+60^{\circ}\text{C}$, любая влажность и т.д.;

- длительный срок годности,

ТАОС имеют и существенные недостатки [14], к которым относится высокая температура аэрозоля и даже форс открытого пламени на выходе из многих ГОА, что делает возможным повторное возгорание; низкая оптическая прозрачность огнетушащего аэрозоля; наличие токсичных газобразных компонентов и частиц дисперсной фазы, способных оказывать раздражающее действие на органы дыхания и зрения.

Для устранения указанных недостатков в последнее время разработаны новые рецептуры аэрозолеобразующих огнетушащих составов [14], которые снижают содержание твердой дисперсной фазы как минимум в 2-3 раза и обеспечивают дистанцию обозревания предметов до 10 м.

Еще раз отметим, что огнетушащая способность дисперсных частиц повышается пропорционально корню квадратному от их дисперсности. Поэтому огнетушащая эффективность нанопорошков, размеры частиц которых примерно на три порядка меньше размеров частиц обычных порошков, не менее чем в 15–20 раз превышают эффективность обычных ПОС [15]. К сожалению, необходимо учитывать, что «эксплуатационные» свойства нанопорошков значительно ухудшаются: увеличивается их слеживаемость и, самое главное, в силу очень низкой кинетической энергии наночастиц крайне затруднена их доставка от места истечения до места действия. Этот недостаток устраняется приготовлением смеси нанопорошка с обычным порошком, частицы которого выполняют роль матрицы, доставляя на себе нанопорошок до нужного места – зоны горения [16].

Нельзя упускать из вида еще один важный аспект эффективности действия огнетушащих порошков – интенсивность подачи ПОС в зону горения должна быть не ниже предельной (критической) [17]. Способ доставки огнетушащего порошка в зону горения также имеет большое значение. Так, подача порошковой струи не перпендикулярно к оси газового фонтана, а почти соосно газовой струе значительно повышает эффективность тушения пожара на газовом фонтане [9]. Это обусловлено тем, что к охлаждающему и возможно ингибирующему действию ПОС добавляется огнетушащее действие порошков по механизму «огнепреградителя» или «холодной стенки».

Выводы. Нами сделана попытка анализа и обобщения сведений и мнений об особенностях прекращения горения с использованием дисперсных материалов. Приходится констатировать, что, несмотря на широкое и достаточно успешное применение дисперсных материалов (порошков и аэрозолей) для прекращения горения, механизм их огнетушащего действия до конца не ясен и требует дальнейшего экспериментального изучения и осмысления.

Библиографический список

1. Марков, В. Ф. Физико-химические основы развития и тушения пожаров / В. Ф. Марков, Л. Н. Маскаева, М. П. Миронов, С. Н. Пазникова. – Екатеринбург: УрО РАН, 2009. – 274 с.
2. Абдурагимов, И. М. Физико-химические основы развития и тушения пожаров /

References

1. Markov, V. F. Fiziko-himicheskie osnovy razvitiya i tusheniya pozharov / V. F. Markov, L. N. Maskaeva, M. P. Mironov, S. N. Paznikova. – Ekaterinburg: UrO RAN, 2009. – 274 s.
2. Abduragimov, I. M. Fiziko-himicheskie osnovy razvitiya i tusheniya pozharov / I. M.

- И. М. Абдурагимов, В. Ю. Говоров, В. Е. Макаров – М.: Высшая инженерная пожарно-техническая школа МВД СССР, 1980. – 256 с.
3. **Баратов, А. Н.** Горение – Пожар – Взрыв-Безопасность / А. Н. Баратов. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2003. – 364 с.
4. **Корольченко, А. Я.** Процессы горения и взрыва / А. Я. Корольченко. – М.: Пожнаука, 2007. – 266 с.
5. **Баратов, А. Н.** Порошковое пожаротушение / А. Н. Баратов, Л. П. Вогман, Д. В. Бухтояров, А. Л. Чибисов // Пожарная безопасность – 2012. – № 2. – С. 120 – 122.
6. **Баратов, А. Н.** Пожаротушение / А. Н. Баратов, В. Н. Иванов. – М.: Химия, 1979. – 368 с.
7. **Баратов, А. Н.** Огнетушащие порошковые составы / А. Н. Баратов, Л. П. Вогман – М.: Стройиздат, 1982. – 135 с.
8. **Маркова, Н. Б.** Обеспечение эксплуатационной надежности пожарных автомобилей порошкового тушения / Н. Б. Маркова, М. Р. Сытдыков, А. С. Поляков // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. – 2014. - №1. – С. 38-43.
9. **Абдурагимов, И. М.** О механизмах огнетушащего действия средств пожаротушения / И. М. Абдурагимов // Пожаровзрывобезопасность – 2012. – Т. 21. – № 4. – С. 60-82.
10. **Серебренников, С. Ю.** Тушение взрывчатых веществ и твердых ракетных топлив аэрозольно-порошковым методом / С. Ю. Серебренников, К. В. Прохоренко, С. В. Чернов, М. Б. Грубиян // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – Т. 22. – № 11. – С. 49–54.
11. **Агафонов, В. В.** Установки аэрозольного пожаротушения. Элементы, характеристики, проектирование, монтаж и эксплуатация / В. В. Агафонов, Н. П. Копылов. – М.: ВНИИПО, 1999. – 236 с.
12. **Korolchenko, A.Ya.** Fire extinguishing mechanism of gas-aerosol fire extinguishing means / A. Ya. Korolchenko, V. I. Gorshkov, Yu. N. Shebeko, V. G. Shamonin // Fire Safety Journal. – 1996. – V. 26. – Issue 2. – P. 187.
13. **Korobeinichev, O. P.** Fire suppression by low-volatile chemically active fire suppressants using aerosol technology / O. P. Korobeinichev, A. G. Shmakov, V. M. Shvartsberg, etc // Fire Safety Journal. – 2012. – V. 51. – P. 102 – 109.
14. **Агафонов, В. В.** Повышение безопасности твердотопливных генераторов огнетушащего действия / В. В. Агафонов, В. Б. Голубчиков, А. В. Животков // Пожарная безопасность – 2013. – № 3. – С. 47–57.
15. **Копылов, С. Н.** Эволюция средств объемного пожаротушения: от озоноразрушающих агентов, до огнетушащих веществ с коротким временем жизни в атмосфере / С. Н. Копылов, В. В. Агафонов, Н. П. Копылов // Пожарная безопасность – 2012. – № 2. – С. 123–130.
16. **Копылов, С. Н.** Нанотехнологии и пожарная безопасность / С. Н. Копылов, А. Н. Баратов, А. В. Казаков, Д. В. Бухтояров, И. А. Шур // Пожарная безопасность – 2011. – № 3. – С. 71–74.
- Abduragimov, V. Yu. Govorov, V. E. Makarov – М.: Vysshaya inzhenernaya pozharно-technicheskaya shkola MVD SSSR, 1980. – 256 s.
3. **Baratov, A. N.** Gorenie – Pozhar – Vzryiv-Bezopasnost / A. N. Baratov. – М.: FGU VNIPO MChS Rossii, 2003. – 364 s.
4. **Korolchenko, A. Ya.** Protsessyi goreniiya i vzryiva / A. Ya. Korolchenko. – М.: Pozhnauka, 2007. – 266 s.
5. **Baratov, A. N.** Poroshkovoe pozharotushenie / A. N. Baratov, L. P. Vogman, D. V. Buhtoyarov, A. L. Chibisov // Pozharnaya bezopasnost – 2012. – № 2. – S. 120 – 122.
6. **Baratov, A. N.** Pozharotushenie/ A. N. Baratov, V. N. Ivanov. – М.: Himiya, 1979. – 368 s.
7. **Baratov, A. N.** Ognetushaschie poroshkovyie sostavyi / A. N. Baratov, L. P. Vogman – М.: Stroyizdat, 1982. – 135 s.
8. **Markova, N. B.** Obespechenie ekspluatatsionnoy nadezhnosti pozharnyih avtomobiley poroshkovogo tusheniya / N. B. Markova, M. R. Syitdykov, A. S. Polyakov // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta GPS MChS Rossii. – 2014. - №1. – S. 38-43.
9. **Abduragimov, I. M.** O mehanizmah ognetushaschego deystviya sredstv pozharotusheniya // Pozharovzryivobezopasnost – 2012. – T. 21. – № 4. – S. 60-82.
10. **Serebrennikov, S. Yu.** Tushenie vzryivchatiy veschestv i tverdyih raketnyih topliv aerazolno-poroshkovyim metodom / S. Yu. Serebrennikov, K. V. Prohorenko, S. V. Chernov, M. B. Grubiyani // Pozharovzryivobezopasnost. – 2013. – T. 22. – № 11. – S. 49–54.
11. **Agafonov, V. V.** Ustanovki aerazolnogo pozharotusheniya. Elementyi, karakteristiki, proektirovanie, montazh i ekspluatatsiya / V. V. Agafonov, N. P. Kopyilov. – М.: VNIPO, 1999. – 236 s.
12. **Korolchenko, A.Ya.** Fire extinguishing mechanism of gas-aerosol fire extinguishing means / A. Ya. Korolchenko, V. I. Gorshkov, Yu. N. Shebeko, V. G. Shamonin // Fire Safety Journal. – 1996. – V. 26. – Issue 2. – P. 187.
13. **Korobeinichev, O. P.** Fire suppression by low-volatile chemically active fire suppressants using aerosol technology / O. P. Korobeinichev, A. G. Shmakov, V. M. Shvartsberg, etc // Fire Safety Journal. – 2012. – V. 51. – P. 102 – 109.
14. **Agafonov, V. V.** Povyishenie bezopasnosti tverdotoplivnykh generatorov ognetushaschego deystviya / V. V. Agafonov, V. B. Golubchikov, A. V. Zhivotkov // Pozharnaya bezopasnost – 2013. – № 3. – S. 47–57.
15. **Kopyilov, S. N.** Evolyutsiya sredstv ob'emnogo pozharotusheniya: ot azonorazrushayuschih agentov, do ognetushaschih veschestv s korotkim vremenem zhizni v atmosfere / S. N. Kopyilov, V. V. Agafonov, N. P. Kopyilov // Pozharnaya bezopasnost – 2012. – № 2. – S. 123–130.
16. **Kopyilov, S. N.** Nanotehnologii i pozharnaya bezopasnost / S. N. Kopyilov, A. N. Baratov, A. V. Kazakov, D. V. Buhtoyarov, I. A. Shur // Pozharnaya bezopasnost – 2011. – № 3. – S. 71–74.

17. **Абдурагимов, И. М.** Предельные явления в горении как научно-теоретическая основа пожаровзрывобезопасности / И.М. Абдурагимов // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т. 21. – № 11. – С. 18-26.

17. **Abduragimov, I. M.** Predelnyie yavleniya v gorenii kak nauchno-teoreticheskaya osnova pozharovzryivobezopasnosti / I.M. Abduragimov // Pozharovzryivobezopasnost. – 2012. – Т. 21. – № 11. – S. 18-26.

NOVEL STATE OF PHYSICAL AND CHEMICAL IDEAS OF FEATURES OF THE FIRE TERMINATION WITH USE OF DISPERSE MATERIALS

Spichkin Yu. V.

D. Sc. in Chemistry, Prof.

Voronezh Institute of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia.
Russia, Voronezh

Kalach A. V.,

D. Sc. in Chemistry, Assoc. Prof.,

Voronezh Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia,
Russia, Voronezh, tel.: (473) 236-33-05, e-mail: AVKalach@gmail.com

Sorokina J.N.

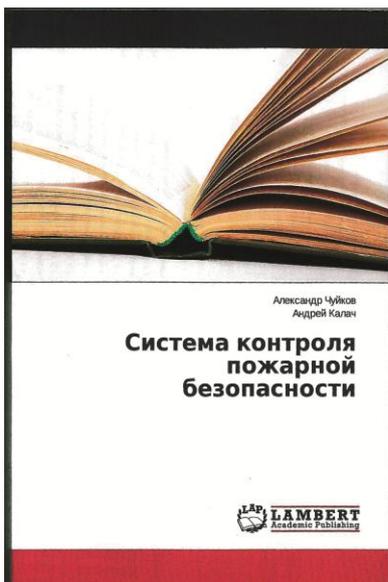
Ph. D. in Engineering, Assoc. Prof.,

Voronezh Institute of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia.
Russia, Voronezh,
e-mail: sorokina-jn@mail.ru

The description and assessment of applicability of modern physical and chemical ideas of features of the termination of burning in article by disperse substances is provided. Mechanisms of extinguishing action powder, solid propellant an aerosol of forming structures extinguishing fire are considered.

Keywords: fire, disperse materials, heat assignment, stewing.

КНИЖНЫЕ НОВИНКИ



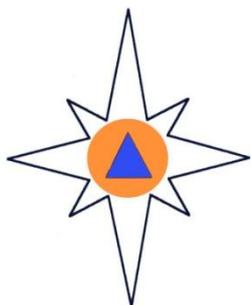
Чуйков А. М., Калач А. В. Система контроля пожарной безопасности / А. М. Чуйков, А. В. Калач. – Saarbrücken, Deutschland, 2013. – 112 S.

В монографии рассматриваются проблемы обеспечения пожарной безопасности путем использования аналитических сенсоров. Наиболее актуальной задачей является экспрессная оценка и предупреждение пожароопасной ситуации путем контролирования химического состава воздуха рабочей зоны и своевременного предупреждения персонала об опасности. Существующие алгоритмы расчета установок газоанализаторов на местах не в полной мере учитывают совокупное воздействие воздушных потоков и таких факторов, как молекулярная масса газообразных вредных веществ, геометрические размеры помещения, способы организации воздухообмена, возможности взаимодействия выделяющихся летучих веществ в результате переработки или эксплуатации строительных материалов на полимерной основе.

Практическим аспектом данной работы является разработка схемы функционирования газоанализатора, позволяющей обеспечить пожаровзрывобезопасность промышленных предприятий по производству строительных отделочных материалов на полимерной основе.

Конечным результатом исследования является разработка интегрированного комплекса безопасности, включающего систему газового анализатора.

Издание рассчитано на научных работников, аспирантов, профессорско-преподавательский состав вузов, а также специалистов в области пожарной безопасности.



МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 614.8

ПНЕВМАТИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ИЗ ГОРЯЩЕГО ЗДАНИЯ

В. Л. Мурзинов, О. В. Сушкова

Статья посвящена инновационным средствам эвакуации людей из горящего здания. Рассмотрены четыре группы средств эвакуации: незадымляемые лестницы, стационарные пожарные лестницы, выдвижные пожарные лестницы, средства эвакуации при помощи веревок, тросов, канатов и специальных спусковых устройств, прыжковые спасательные средства, индивидуальные средства спасения. Рассмотрено пневматическое транспортное средство эвакуации людей из горящего здания путем линейного перемещения в безопасную зону.

Ключевые слова: эвакуация, безопасная зона, незадымляемые лестницы, стационарные пожарные лестницы, выдвижные пожарные лестницы, средства эвакуации при помощи веревок, тросов, канатов и специальных спусковых устройств, прыжковые спасательные средства, индивидуальные средства спасения, пневматическое транспортное средство эвакуации.

Введение. Пожар в здании, особенно там, где находится большое количество людей, всегда представляет угрозу для их жизни. Спасение их, как правило, зависит от своевременной и грамотно организованной эвакуации. Именно поэтому надежная схема эвакуации из здания имеет огромное значение. Эвакуация – это организованный процесс перемещения людей к выходу из здания при возникновении опасности (пожара) для обеспечения их безопасности. Эвакуация происходит по специальным, заранее предусмотренным и спроектированным эвакуационным путям в направлении выходов. Хотя любое здание имеет свои конструктивные и объемно-планировочные особенности,

Мурзинов Валерий Леонидович, д-р техн. наук, проф., Воронежский государственный архитектурно-строительный университет; Россия, г. Воронеж, e-mail: vlmurzinov@box.vsi.ru

Сушкова Ольга Вячеславовна, аспирант кафедры пожарной и промышленной безопасности, Воронежский государственный архитектурно-строительный университет; Россия, г. Воронеж, e-mail: faustovaolga@vgasu.vrn.ru

эвакуационные пути в нем проектируются в строгом соответствии с требованиями нормативных документов по пожарной безопасности, которые устанавливают их параметры (длина, ширина, отделочные материалы, установленные вентиляционные, противодымные, противопожарные системы защиты и т.д.).

1. Эвакуация людей из горящих зданий в зависимости от классификации зданий и сооружений. Пожар в многоэтажном здании, эвакуация из него и спасение людей (в том числе и самоспасение) – это проблема всех городов, где ведется высотное строительство. Основной способ обеспечения безопасности людей при пожарах в общественных зданиях и сооружениях – это их эвакуация в безопасную зону. Эвакуация обеспечивается, согласно ГОСТ 12.1.004-91, посредством устройства необходимого количества эвакуационных путей и соблюдения их требуемых параметров, а также организацией своевременного оповещения людей и управления их движением.

Средства эвакуации из высоток можно разделить на следующие группы.

Первая группа – это средства эвакуации, предусмотренные проектом здания (незадымляемые лестницы, стационарные пожарные лестницы

и т.д.). Незадымляемые лестницы предназначены для эвакуации в случае задымления здания. При неработающей противодымной защите здания, когда дым распространяется по шахтам лифтов и вентиляционным системам, незадымляемая лестница будет единственным путем спасения. Двери выхода на эти лестницы должны плотно закрываться и иметь доводчики или пружины, чтобы до минимума сократить возможность попадания на них дыма. Если дым будет попадать туда беспрепятственно, этот путь может быть отрезан.

Стационарные пожарные лестницы могут быть предусмотрены в проекте здания, это эффективный и безопасный способ эвакуации. Но для пожилых людей и лежачих больных этот путь проблематичен: их эвакуацию должны обеспечить спасатели и пожарные. Могут быть предусмотрены и другие варианты, например внешние стационарные лестницы, но они портят облик здания и не пользуются популярностью у застройщиков. Лифты не являются средством эвакуации людей при пожаре, так как их либо отключают, либо они отключаются автоматически сами.

Вторая группа – это средства, которые доставляют к месту возгорания пожарные: средства эвакуации при помощи веревок, тросов, канатов и специальных спусковых устройств, выдвижные пожарные лестницы. Выдвижные пожарные лестницы представляют собой автомеханические модульные устройства, достоинством которых является способность дотянуться и до 25-го этажа. Недостатки этих средств, во-первых, габариты базового автомобиля, которые могут не позволить подобраться к месту ЧП через припаркованные машины. Во-вторых, лестница такой высоты – это телескопическая система, имеющая огромную массу, поставить которую можно не на все грунты. Также, несмотря на то, что центр тяжести там рассчитан с максимальной точностью, выдвигать модули можно только при определенной силе ветра, иначе конструкция может просто опрокинуться [1].

Третья группа – прыжковые спасательные средства, такие как надувные маты [2, 3]. Однако эти средства не всегда обеспечивают полную безопасность спасаемых людей. Иногда маты надуваются до давления, при котором исключается выброс спасаемого с приемного полотна. При таком избыточном давлении, чтобы погасить кинетическую энергию падающего тела, высота надувного основания (ярусов подушек) должна быть достаточно большой – больше 2 м. А кроме того, вследствие равной деформации подушек приземление спасаемого в периферийной части приемного полотна может приводить к его скатыванию с полотна и травмированию.

Четвёртая группа – индивидуальные средства спасения. Например, канатно-спускные пожарные устройства предназначены для индивидуально и группового спасения людей из высотных зданий в чрезвычайных ситуациях. Они могут быть

установлены в любом помещении с выходом наружу здания. Высота спуска доходит до 100 м, но строители не предусматривают мест крепления таких устройств. Конечно, нельзя не учитывать и психологический фактор, не каждый доверит свою жизнь тонкому шнуру и спрятанному в цилиндр тормозному механизму.

2. Инновационное пневматическое транспортное средство эвакуации людей из горящего здания. Для организации безопасной эвакуации может быть использовано пневмотранспортное устройство с воздушной подушкой [4, 5, 6].

Пневмотранспортное устройство практически не имеет подвижных механических частей, кроме самого поршня-уплотнителя, являющегося составной частью внешнего подвижного элемента грузовой платформы.

Внешний вид устройства представлен на рис. 1, где показан транспортный трубопровод (1), на котором установлен транспортный цилиндр (2) с грузовой платформой (3). Внутренняя полость транспортного трубопровода (1) соединена с линией сжатого воздуха через регулируемые дроссели (4) и (5), а линия низкого давления соединяется с внутренней полостью через дроссели (6) и (7).

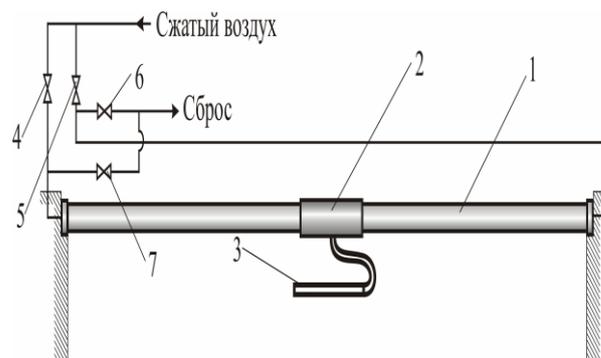


Рис. 1. Внешний вид пневмотранспортного устройства линейных перемещений

Более детально конструкция транспортного цилиндра показана на рис. 2, где видно, что продольное щелевое отверстие в транспортном трубопроводе (1) закрыто клапаном (8), выполненным в виде ленты. Внутри транспортного трубопровода (1) установлен поршень-уплотнитель (9) с ведущей полкой штангой (10), находящейся в продольном щелевом отверстии транспортного трубопровода (1). Через постоянный дроссель (12) в полую штангу (10) и далее в кольцевую пневмокамеру (11) подается сжатый воздух для создания воздушной подушки между наружной поверхностью транспортного трубопровода (1) и транспортного цилиндра (2). Кольцевая пневмокамера (11) снабжена питающими отверстиями (13), подающими сжатый воздух в воздушную подушку (14).

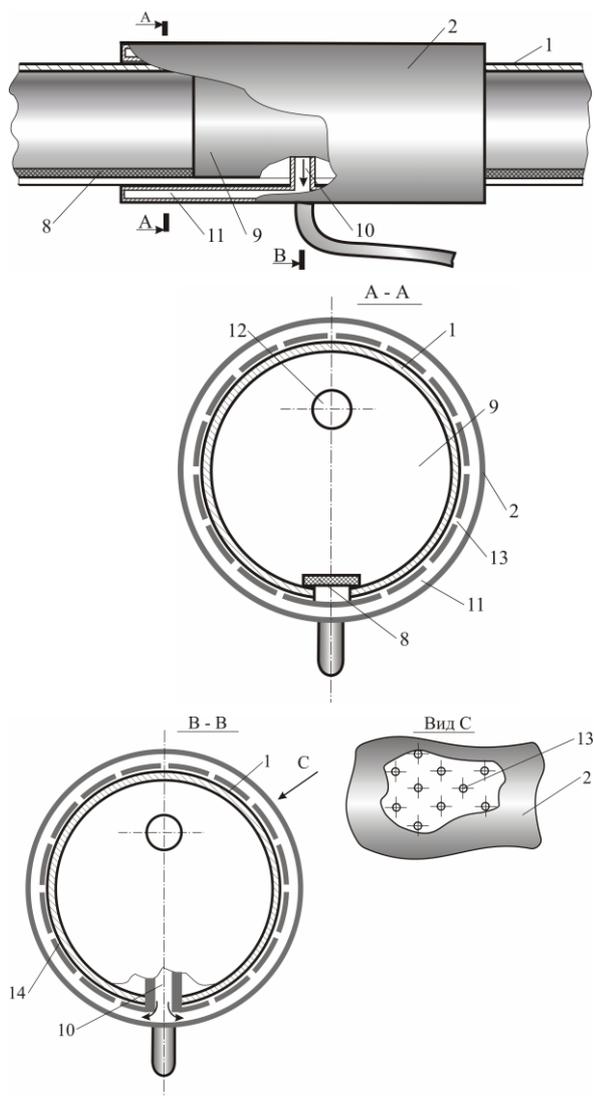


Рис. 2. Внешний вид и сечения транспортного цилиндра и часть транспортного трубопровода

Управление направлением и скоростью перемещения грузовой платформы (3) осуществляется следующим образом [7, 8]. Например, необходимо осуществить перемещение грузовой платформы (3) справа налево с заданной скоростью. Для этого закрывают дроссели (4) и (6), дроссель (7) открывают полностью для надежного соединения с линией низкого давления, а проходное сечение дросселя (5) делают определенной величины, соответствующей заданной скорости перемещения. Во внутренней полости трубопровода (1) с правой стороны относительно транспортного цилиндра (2) создается избыточное давление от поступающего сжатого воздуха через дроссель (5), а в левой части – давление будет пониженным. На поршень-уплотнитель (9) будет действовать перепад давления, обеспечивающий его перемещение и, соответственно, перемещение грузовой платформы (3). При создании избыточного давления в любой части транспортного трубопровода (1) сжатый воздух будет поступать

через постоянный дроссель (12) в ведущую полую штангу (10) и, соответственно, в кольцевую пневмокамеру (11). Из этой пневмокамеры через питающие отверстия (13) сжатый воздух будет поступать в воздушную подушку (14). Избыточное давление сжатого воздуха в воздушной подушке (14) устраним механический контакт между транспортным цилиндром (2) и наружной поверхностью транспортного трубопровода (1). Отсутствие механического контакта делает процесс перемещения транспортного цилиндра практически бесшумным. Образовавшаяся газовая смазка обеспечивает небольшой коэффициент трения, достигающий величины 0.001. Обычно толщина воздушной подушки составляет десятые доли миллиметра, что обеспечивает небольшую величину расхода сжатого воздуха и составляет примерно

$$(0.2+1.0) \times 10^{-5} [m^3/c].$$

Пневмотранспортное средство для эвакуации людей из горящего здания в безопасную зону показано на рис. 3.

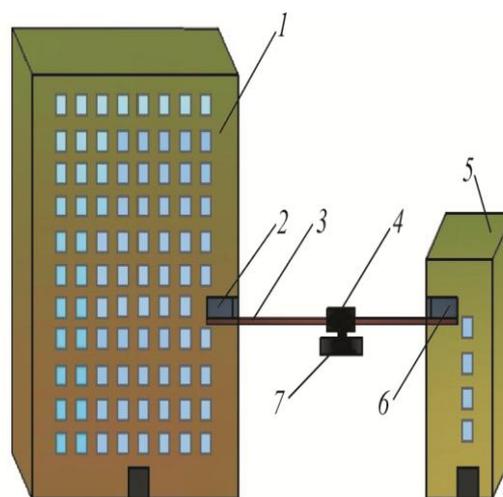


Рис. 3. Внешний вид взаимного расположения здания, пневмотранспортного спасательного средства и вспомогательной конструкции

В здании (1) выполнен загрузочный пост (2), на котором осуществляется погрузка при эвакуации на платформу (7). Эта платформа укреплена на транспортном цилиндре (4). Перемещение транспортного цилиндра осуществляется по транспортному трубопроводу (3), на котором установлен транспортный цилиндр (4) с грузовой платформой (7). Грузовая платформа (7) снабжена ёмкостью со сжатым воздухом, используемым для горизонтального перемещения грузовой платформы (7) к приёмному посту (6) вспомогательной конструкции (5). В исходном состоянии грузовая платформа (7) находится на загрузочном посту (2). При возникновении пожара и невозможности воспользоваться лестницами и лифтами люди загружаются в грузо-

вую платформу (7) и, используя ручное управление, перемещают эту платформу к посту (6) на вспомогательной конструкции (5). После выгрузки группы людей на посту (6) грузовую платформу перемещают в исходную позицию для эвакуации очередной группы людей. Для обеспечения перемещения грузовой платформы с людьми используется сжатый воздух, хранящийся в герметичных емкостях, поэтому при отключении электричества пневмотранспортное средство будет работать бесперебойно.

Библиографический список

1. **Молодежь и наука:** модернизация и инновационное развитие страны / Материалы международной научно-практической конференции (г. Пенза, 15–16 сентября 2011 г.). В 3 ч. – Пенза: изд-во ПГУ, 2011. – 2 Ч. – 446 с.
2. **Пат. 2193905.** Российская Федерация. Устройство для спасения людей с высоких объектов в экстремальных ситуациях / Шайдурова Г. И.; Шатров В. Б.; Зарицкий В. И.; Кремлев А. Н.; Макаревич Ю. Л.; Севастьянов Р. В.; Каримов В. З. опубл. 10.12.2002.
3. **Пат. 2335312.** Российская Федерация, МПК А62В 1/22. Устройство для спасения падающих с высоты тел / Мурзинов В. Л. и др.; заявитель и патентообладатель Воронежская государственная лесотехническая академия. — № 2007104643/12; заявл. 06.02.2007; опубл. 10.10.2008, Бюл. № 28.
4. **Пат. 2254280.** Российская Федерация, МПК В 65 G 3. 51/04. Пневмотранспортное устройство с воздушной подушкой / Мурзинов В. Л., Мурзинов П. В.; заявитель и патентообладатель Воронежская государственная лесотехническая академия. – №2003128557/11; опубл. 20.06.2005 Бюл. №17.
5. **Пат. 2272777.** Российская Федерация, МПК В 65 G 51/04. Пневмотранспортное устройство / Мурзинов В. Л.; заявитель и патентообладатель Воронежская государственная лесотехническая академия. – №2004128289/11; заявл. 22.09.2004; опубл. 27.03.2006, Бюл. № 9.
6. **Квасов, И. С.** Статическое оценивание состояния трубопроводных систем на основе функционального эквивалентирования / И.С. Квасов, М.Я. Панов, С.А. Сазонова // Известия вузов. Строительство. – 2000, № 4. – С. 100–105.
7. **Трусов, С. И.** Пожарная безопасность метрополитена / С. И. Трусов, С. А. Колодяжный, В. Я. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2011. – №4. – С. 203–207.
8. **Мурзинов, В. Л.** Динамика пневмотранспортного устройства линейных перемещений с пониженным шумоизлучением // Автоматизация и современные технологии. – 2007. – №5. – С. 12–17.

Выводы. Пневмотранспортное средство для эвакуации позволяет спасать людей с ограниченными возможностями перемещения: престарелые люди, раненые, дети, подвергшиеся газовому отравлению и т.д. Для этой категории людей другие средства спасения из горящих зданий являются не приемлемыми. Областью применения этого пневмотранспортного средства спасения могут быть больницы, дома для престарелых людей, детские и дошкольные учреждения.

References

1. **Molodezh i nauka:** modernizatsiya i innovatsionnoe razvitie strany / Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (g. Penza, 15–16 sentyabrya 2011 g.); v 3 ch. – Penza: izd-vo PGU, 2011. – 2 Ch. – 446 s.
2. **Pat. 2193905.** Rossiyskaya Federatsiya. Ustroystvo dlya spaseniya lyudey s vyisokih ob'ektov v ekstremalnykh situatsiyah / Shaydurova G. I.; Shatrov V. B.; Zaritskiy V. I.; Kremlev A. N.; Makarevich Yu. L.; Sevastyanov R. V.; Karimov V. Z. opubl. 10.12.2002.
3. **Pat. 2335312.** Rossiyskaya Federatsiya, MPK A62V 1/22. Ustroystvo dlya spaseniya padayuschih s vyisoty tel / Murzinov V. L. i dr.; zayavitel i patentoobladatel Voronezhskaya gosudarstvennaya lesotekhnicheskaya akademiya. — № 2007104643/12; zayavl. 06.02.2007; opubl. 10.10.2008, Byul. № 28.
4. **Pat. 2254280.** Rossiyskaya Federatsiya, MPK В 65 G 3. 51/04. Pnevmotransportnoe ustroystvo s vozduшной podushkoy / Murzinov V. L., Murzinov P. V.; zayavitel i patentoobladatel Voronezhskaya gosudarstvennaya lesotekhnicheskaya akademiya. – №2003128557/11; opubl. 20.06.2005 Byul. №17.
5. **Pat. 2272777.** Rossiyskaya Federatsiya, MPK В 65 G 51/04. Pnevmotransportnoe ustroystvo / Murzinov V. L.; zayavitel i patentoobladatel Voronezhskaya gosudarstvennaya lesotekhnicheskaya akademiya. – №2004128289/11; zayavl. 22.09.2004; opubl. 27.03.2006, Byul. № 9.
6. **Kvasov, I. S.** Sticheskoie otsenivanie sostoyaniya truboprovodnykh sistem na osnove funktsionalnogo ekvivalentirovaniya / I.S. Kvasov, M.Ya. Panov, S.A. Sazonova // Izvestiya vuzov. Stroitelstvo. – 2000, № 4. – S. 100–105.
7. **Trusov, S. I.** Pozharnaya bezopasnost metropolitena / S. I. Trusov, S. A. Kolodyazhnyiy, V. Ya. Manohin // Nauchnyiy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitelstvo i arhitektura. – 2011. – №4. – S. 203–207.
8. **Murzinov, V. L.** Dinamika pnevmotransportnogo ustroystva lineynykh peremescheniy s ponizhennyim shumoizlucheniem // Avtomatizatsiya i sovremennyye tehnologii. – 2007. – №5. – S. 12–17.

PNEUMATIC TOOL EVACUATION OF PEOPLE FROM A BURNING BUILDING

Murzinov V. L.,

D. Sc. in Engineering, Prof.,
Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering;
Russia, Voronezh, e-mail: vlmurzinov@box.vsi.ru

Sushkova O. V.,

PhD student, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering;
Russia, Voronezh, ph. 8(473) 276-39-74,
e-mail: faustovaolga@vgasu.vrn.ru

Article is devoted to innovative egresses of people from the burning building. Four groups of egresses are considered: nezadymlyaemy ladders, stationary fire-escapes, sliding fire-escapes, egresses by means of ropes, cables, ropes and special trigger devices, hopping saving means, an individual survival equipment. The pneumatic vehicle of evacuation of people from the burning building by linear moving to a safe zone is considered.

Keywords: *evacuation, safe zone, nezadymlyaemy ladders, stationary fire-escapes, sliding fire-escapes, egresses by means of ropes, cables, ropes and special trigger devices, hopping saving means, an individual survival equipment, the pneumatic vehicle of evacuation.*



Ежегодно в Воронежском институте ГПС МЧС России проводятся следующие научные конференции:

– всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций», время проведения - апрель;

– всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Пожарная безопасность: проблемы и перспективы», время проведения - сентябрь;

– всероссийская научно-практическая конференция «Проблемы безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций», время проведения - декабрь.

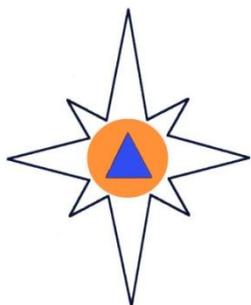
Место проведения конференций - г. Воронеж, ул. Краснознаменная, д. 231, ФГБОУ ВПО Воронежский институт ГПС МЧС России.

Правила регистрации участников и направления материалов публикуются на официальном сайте института: <http://vigps.rf>.

По материалам конференций публикуются сборники научных статей.

Приглашаем вас принять участие в конференциях в 2014 году!

Электронный адрес оргкомитета:
vigps_onirio@mail.ru.



СНИЖЕНИЕ РИСКОВ И ЛИКВИДАЦИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

УДК 519.711

СИТУАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЗЕЙСКОЙ ГЭС ВО ВРЕМЯ АНОМАЛЬНЫХ НАВОДНЕНИЙ

В. Н. Думачев, Н. В. Пешкова, А. В. Калач, А. А. Чудаков

Предложена модель описания чрезвычайных ситуаций природного характера, объединяющая теорию Марковских цепей и теорию игр в виде конечного автомата. В качестве примера рассматривается модель эксплуатации Зейского гидроузла в период ЧС и определяется оптимальная стратегия ее обслуживания.

Ключевые слова: чрезвычайные ситуации природного характера, матричные игры, экстремальные стратегии.

1. Введение. Рост во всем мире количества чрезвычайных ситуаций и масштабов их последствий приводит к необходимости более глубокого анализа причин их возникновения и методов их ликвидации. В настоящей работе рассматриваются модели чрезвычайных ситуаций природного характера. С точки зрения теории конфликтов, возникновение чрезвычайной ситуации является выбором одной из возможных стратегий игры с

природой. Особенностью таких игр является то, что природа не выбирает оптимальной стратегии для своего поведения. И даже если платежная матрица игры допускает существование чистой стратегии – природу нельзя считать «рациональным» игроком, т.е. мы всегда должны предполагать, что природа будет пользоваться исключительно смешанными стратегиями.

Другими словами, какую бы стратегию человек ни выбрал – природа просто проигнорирует его выбор и независимо от выигрыша или проигрыша сделает ход по своим правилам.

2. Теоретические основы модели. Данная работа построена на основе модели, предложенной в [1]. Особенностью предлагаемой модели является объединение теории Марковских цепей [2] с теорией игр [3]. Результатом такого объединения является объект-автомат [4], на вход которого подается последовательность чрезвычайных ситуаций (a_1, a_2, \dots, a_k) и ответных стратегий человека (b_1, b_2, \dots, b_m) , а выходом являются платежные матрицы игр, соответствующих состояниям конечного автомата:

	Вход						
	a_1b_1	a_1b_2	...	a_2b_1	a_2b_2	...	a_kb_m
S_0	S^*	S^*	...	S^*	S^*	...	S^*
S_1	S^*	S^*	...	S^*	S^*	...	S^*
...
S_n	S^*	S^*	...	S^*	S^*	...	S^*

Думачев Владислав Николаевич, канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры высшей математики, Воронежский институт МВД России; Россия, Воронеж, тел.: (473)262-33-79, e-mail: dumv@comch.ru

Пешкова Надежда Владимировна, адъюнкт кафедры высшей математики, Воронежский институт МВД России; Россия, Воронеж, тел.: (473)262-33-79

Калач Андрей Владимирович, д-р хим. наук, доц., Воронежский институт ГПС МЧС России; Россия, г. Воронеж, тел.: (473) 236-33-05, e-mail: AVKalach@gmail.com

Чудаков Александр Александрович, ст. преп. кафедры пожарной безопасности в строительстве, Воронежский институт ГПС МЧС России; Россия, г. Воронеж, e-mail: vigps@mail.ru

	Выход						
	a_1b_1	a_1b_2	...	a_2b_1	a_2b_2	...	a_kb_m
S_0	c_{11}^0	c_{12}^0	...	c_{21}^0	c_{22}^0	...	c_{km}^0
S_1	c_{11}^1	c_{12}^1	...	c_{21}^1	c_{22}^1	...	c_{km}^1
...
S_n	c_{11}^n	c_{12}^n	...	c_{21}^n	c_{22}^n	...	c_{km}^n

Количество платежных матриц определяется количеством возможных состояний автомата (S_0, S_1, \dots, S_n):

$$p(S_0) = \begin{pmatrix} c_{11}^0 & c_{12}^0 & \dots & c_{1m}^0 \\ c_{21}^0 & c_{22}^0 & \dots & c_{2m}^0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{n1}^0 & c_{n2}^0 & \dots & c_{nm}^0 \end{pmatrix}, \dots, \dots, \dots,$$

$$p(S_n) = \begin{pmatrix} c_{11}^n & c_{12}^n & \dots & c_{1m}^n \\ c_{21}^n & c_{22}^n & \dots & c_{2m}^n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{k1}^n & c_{k2}^n & \dots & c_{km}^n \end{pmatrix}.$$

Целью моделирования является поиск таких стратегий управления объектом-автоматом, которые дадут минимальный проигрыш при возникновении ЧС.

3. Предпосылки моделирования. В качестве примера приложения данной модели рассмотрим моделирование работы Зейской ГЭС, режимы водосброса которой устанавливаются Амурским бассейновым водным управлением.

Крупные наводнения на реке Зeya происходят каждые 7-10 лет, данные о них представлены в табл. 1:

Таблица 1.

Наводнения на реке Зeya

Год	Максимальный суточный приток (м ³ /сек)
1923	10400
1928	13900
1938	10700
1953	12700
1956	10700
1972	12300
1974	10700
1976	10370
1982	11260
1984	13700
1987	11100
1990	11990
2007	15200
2013	11700

Для сравнения приведем значения среднегодового расхода воды некоторых рек мира (табл. 2).

Таблица 2.
Среднегодовой расход воды некоторых рек мира

Река	Водосток м ³ /с
Амазонка	220 000
Енисей	19 800
Лена	16 350
Миссисипи	12 743
Обь	12 492
Волга	8 060
Дунай	6 700
Нил	2 830
Дон	1 000
Воронеж	70
Усманка	1,9
Зeya	896 (зимой – 1,5)

Особенностью реки Зeya является то, что зимой ее приток может составлять всего 2 м³/с. Т.е. она превращается в ручей, от которого никак нельзя ожидать опасности. Весеннее таяние снега приводит к повышению приточности Зeya до 1000 м³/с, однако и это не приводит к ее разливу. Основной причиной наводнений на Дальнем Востоке являются муссонные дожди – ветры, несущие массы влажного воздуха с Тихого океана. В этот период Зeya превращается в реку типа Миссисипи, выходит из берегов и поднимается над меженью на 6-11 метров. Именно необходимость водорегулирования привело правительство СССР в 1964 г. к принятию решения о начале строительства ГЭС в Приамурье. При строительстве Зейской плотины предполагалось ее использование в первую очередь как противопаводкового сооружения, а уже во вторую очередь – как продающую электроэнергию для компенсации эксплуатационных расходов ГЭС. Основные характеристики Зейского водохранилища [5] показаны в табл. 3.

Таблица 3.

Основные характеристики Зейского водохранилища

Обозначение	Характеристика	Уровень, м	Объем, км ³
ФПУ	Форсированный подпорный уровень, предельная отметка наполнения водохранилища при прохождении половодий редкой повторяемости, м	322,1	87,38
НПУ	Нормальный подпорный уровень, отметка заполненного водохранилища, м	315	68,4
УМО	Уровень мёртвого объёма, отметка предельной сработки водохранилища в зимний период, м	299	49,12

Схема Зейского гидроузла показана на рис. 1.

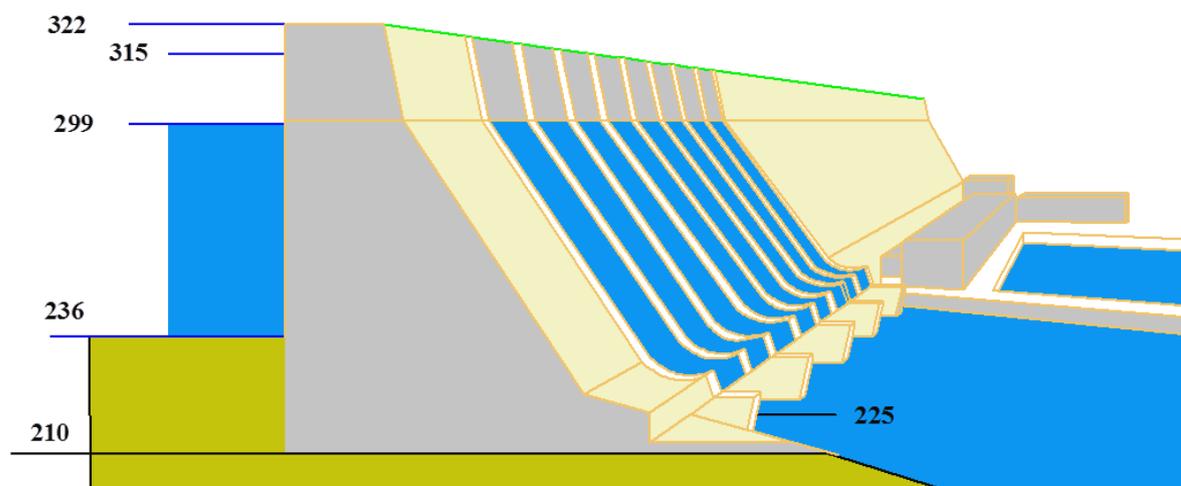


Рис. 1. Схема Зейского гидроузла

При общей высоте плотины – 112 м она удерживает столб воды в 86 м ($87,38 \text{ км}^3$) из которого 63 м относятся к так называемому уровню мертвого объема (УМО), т.е. уровню, ниже которого вода не может опускаться по техническим причинам. Таким образом, проектные возможности Зейской плотины позволяют регулировать высоту водохранилища в пределах 23 м (или от 299 до 322 м над уровнем моря), что, в свою очередь, позволяет контролировать объемы до $38,26 \text{ км}^3$ воды (полная емкость водохранилища).

Нетрудно посчитать, что при среднегодовом притоке реки $896 \text{ м}^3/\text{с}$ за один год в водохранилище поступает:

$$896 \text{ м}^3/\text{с} \times 60 \text{ с} \times 60 \text{ мин} \times 24 \text{ ч} \times 365 \text{ сут} = 28\,256\,256\,000 \text{ м}^3 = 28 \text{ км}^3$$

Другими словами, если высушить реку Зeya ниже плотины, то все равно мы не сможем за один год заполнить водохранилище до максимального уровня (ФПУ – форсированный подпорный уровень). В период с 27 мая по 1 октября злополучного 2013 года в водохранилище поступило всего 36 км^3 , и если бы оно заполнялось от отметки УМО–299, то это никак не могло бы привести ни к отметке ФПУ–322, ни к ЧС. Таким образом, с полной уверенностью можно сказать, что к проектировщикам плотины претензий быть не может. Она спроектирована с учетом местных климатических условий и обладает большим запасом прочности и резервами как регионально значимое противопаводковое сооружение.

В настоящее время Зейский гидроузел принадлежит ОАО «РусГидро» [5], которое, естественно, считает, что основным видом деятельности Зейской ГЭС должно является производство электрической и тепловой энергии. Зейская ГЭС имеет 6 гидроагрегатов общей мощностью 1330 МВт. Для нормальной работы турбин гидроагрегатов требуется напор (НПУ – нормальный подпорный уровень) $78,5 \text{ м}$ (т.е. 315 м над уровнем моря). Мини-

мальный напор работы установлен в $74,5 \text{ м}$ (311 м над уровнем моря). Другими словами, для эффективной работы электростанции администрация должна постоянно поддерживать уровень воды водохранилища на отметке НПУ $315 \pm 4 \text{ м}$. В этом случае регулируемый объем водохранилища уменьшается уже до 20 км^3 . Допустим, что уровень воды весь год остается на отметке НПУ – 315 м . Тогда, учитывая, что расход воды через одну турбину составляет около $300 \text{ м}^3/\text{с}$, получим максимальный объем водохранилища, срабатываемый за один год 5-ю турбинами (одна всегда в ремонте):

$$5 \times 300 \text{ м}^3/\text{с} \times 60 \text{ с} \times 60 \text{ мин} \times 24 \text{ ч} \times 365 \text{ сут} = 47\,304\,000\,000 \text{ м}^3 = 47 \text{ км}^3$$

Очевидно, что практически таких показателей достичь невозможно. Поэтому с этого момента деятельность администрации ГЭС переходит из области рутинной работы в область игры с природой. Как видно, нормального годового притока реки Зeya в 28 км^3 недостаточно для постоянной поддержки НПУ–315 и максимальной загрузки генераторов. Естественным выходом в этой ситуации остается стратегия аккумуляции воды в дождливое время для ее последующего использования в безводный период. Для этого водохранилище располагает свободными 38 км^3 .

Однако, как мы уже знаем, эффективная работа генераторов ограничена уровнями $74,5 \text{ м}$ – $84,5 \text{ м}$. Т.е. в резерве остаются только 20 км^3 , и это при колоссальном сезонном разбросе приточности реки Зeya от 2 до $11\,000 \text{ м}^3/\text{с}$. Очевидно, что холостой водосброс весной для подготовки к летним муссонам – это рискованное мероприятие, ведь лето может оказаться сухим.

Но, с другой стороны, если пройдет муссон, а водохранилище будет заполнено, придется открывать аварийные водосбросы и затапливать нижележащие территории. А это уже ЧС, за которую тоже необходимо отвечать, т.к. гидроузел не выполняет свое проектное назначение.

Цена вопроса – выработанные и реализованные киловатты электроэнергии. Приведем качественную оценку. Максимальная гипотетическая мощность, которую может достигнуть Зейская ГЭС, выработав 47 км^3 на 5 турбинах, составляет:

$$5 \times 225 \text{ МВт} \times 24 \text{ ч} \times 365 \text{ сут} = 9\,855\,000 \text{ МВт} = 9,855 \text{ млрд кВт}\cdot\text{ч}.$$

Проектная среднегодовая выработка для Зейской ГЭС установлена в 4,91 млрд кВт·ч. Игра с природой позволила администрации получить в 2010 г. – 6,14 млрд кВт·ч, в 2011 г. – 5,04 млрд кВт·ч, в 2012 г. – 5,83 млрд кВт·ч, в 2013 г. – 6,86 млрд кВт·ч. Промышленность Амурского региона в настоящее время не способна переработать такие мощности, и поэтому часть электроэнергии продается по низкой цене в Китай. Т.е. даже Китай остается в выигрыше. Проигравшими стали только жители затопленных наводнением территорий.

4. Игровая модель. Рассмотрим данную ситуацию с точки зрения теории конфликтов. Допустим, что водохранилище может находиться в следующих состояниях:

S_0 – меньше УМО;

S_1 – состояние ниже НПУ;
 S_2 – состояние НПУ;
 S_3 – состояние выше НПУ, но до ФПУ;
 S_4 – состояние выше ФПУ (плотина разрушена).

Игроками выступают, с одной стороны, природа, а с другой – администрация ГЭС. В данном случае представителем природы выступает река Зей, состояние которой характеризуется ее притоком в водохранилище. Другими словами, стратегиями природы является управление притоками реки Зеи:

a_0 – притока практически нет (до $1000 \text{ м}^3/\text{с}$);
 a_1 – нормальный приток ($1500 - 2500 \text{ м}^3/\text{с}$);
 a_2 – аномальный приток (более – $4000 \text{ м}^3/\text{с}$).

В свою очередь, администрация ГЭС имеет следующие стратегии:

b_0 – закрыть плотину;
 b_1 – открыть гидроузлы;
 b_2 – открыть гидроузлы и холостой водосброс.

Конечный автомат данной модели имеет вид:

	Вход								
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
	a_0b_0	a_0b_1	a_0b_2	a_1b_0	a_1b_1	a_1b_2	a_2b_0	a_2b_1	a_2b_2
S_0	S_0	S_0	S_0	S_1	S_0	S_0	S_1	S_1	S_0
S_1	S_1	S_0	S_0	S_2	S_1	S_1	S_2	S_2	S_1
S_2	S_2	S_1	S_1	S_3	S_2	S_2	S_3	S_3	S_2
S_3	S_3	S_2	S_2	S_4	S_3	S_3	S_4	S_4	S_3
S_4	S_4	S_4	S_4	S_4	S_4	S_4	S_4	S_4	S_4

	Выход								
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
	a_0b_0	a_0b_1	a_0b_2	a_1b_0	a_1b_1	a_1b_2	a_2b_0	a_2b_1	a_2b_2
S_0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
S_1	-1	1	1-x	-1	1	1-x	-1	1	1-x
S_2	-1	1	1-x	-1	1	1-x	-1	1	1-x
S_3	-1	1	1-x	-10	1	1-x	-10	-10	1-x
S_4	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10

Рассмотрим правила заполнения первых 3-х колонок по входу автомата. Они определяют изменение состояния водохранилища в зимний период, когда приток очень мал. В этом случае при закрытой плотине состояние водохранилища не меняется, а при открытых водосбросах уровень понижается на 1 ед.

Колонки 4–6 определяют изменение состояния водохранилища при нормальном притоке ($1500 - 2500 \text{ м}^3/\text{с}$). В этом случае весь приток может быть сработан гидроузлом. При закрытой плотине уровень будет повышаться, а при холостых спусках – понижаться.

Колонки 7–9 определяют изменение состояния водохранилища при аномальном притоке (более $4000 \text{ м}^3/\text{с}$). В этом случае стабилизировать уро-

вень водохранилища можно только холостым водосбросом, в противном случае он будет повышаться.

Выходные значения автомата определяют затраты администрации на обслуживание ГЭС (-1 ед.) и ликвидацию последствий прорыва наводнения (-x ед.). Таким образом, в зависимости от состояния автомата на выходе мы получим следующие платежные матрицы игры с природой:

$$p(S_0) = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix},$$

$$p(S_1) = p(S_2) = \begin{pmatrix} -1 & 1 & 1-x \\ -1 & 1 & 1-x \\ -1 & 1 & 1-x \end{pmatrix},$$

Таблица 4.

$$p(S_3) = \begin{pmatrix} -1 & 1 & 1-x \\ -10 & 1 & 1-x \\ -10 & -10 & 1-x \end{pmatrix},$$

$$p(S_4) = \begin{pmatrix} -10 & -10 & -10 \\ -10 & -10 & -10 \\ -10 & -10 & -10 \end{pmatrix}.$$

Стратегии действий администрации ГЭС
(в зависимости от состояния водохранилища)

Состояния водохранилища	Оптимальные стратегии администрации ГЭС
S ₁ – состояние ниже НПУ	b ₁ – работа гидроагрегатов
S ₂ – состояние НПУ	b ₁ – работа гидроагрегатов
S ₃ – состояние выше НПУ, но до ФПУ	b ₂ – работа гидроагрегатов + холостой сброс

Дальнейший анализ игр проводится при естественном предположении, что мы знаем смешанные стратегии природы. Практически в рассматриваемой ситуации несложно провести статистический анализ наводнений в регионе по данным Гидрометцентра с 1930 г.

Решение игры S₀ показывает, что в засушливый период администрации ГЭС необходимо принимать меры по скорейшему наполнению водохранилища и запуску гидроагрегатов.

Решения игры S₁ зависят от значения х-затрат на ликвидацию наводнения ниже плотины. Поскольку в настоящее время администрация ГЭС не отвечает за последствия ЧС, вызванных наводнениями, то примем х=0. В этом случае администрации ГЭС выгодно придерживаться стратегий в зависимости от состояния водохранилища, представленных в табл. 4:

Холостой сброс в последнем случае используется исключительно для предотвращения наполнения водохранилища выше ФПУ. Очевидно, что превышение ФПУ приведет к разрушению плотины, что никак не может входить в бизнес-планы администрации ГЭС.

Как видно из графика наполнения водохранилища за период лето–осень–зима 2013 г., именно такие стратегии и используются на практике при эксплуатации данного гидротехнического сооружения (рис. 2).

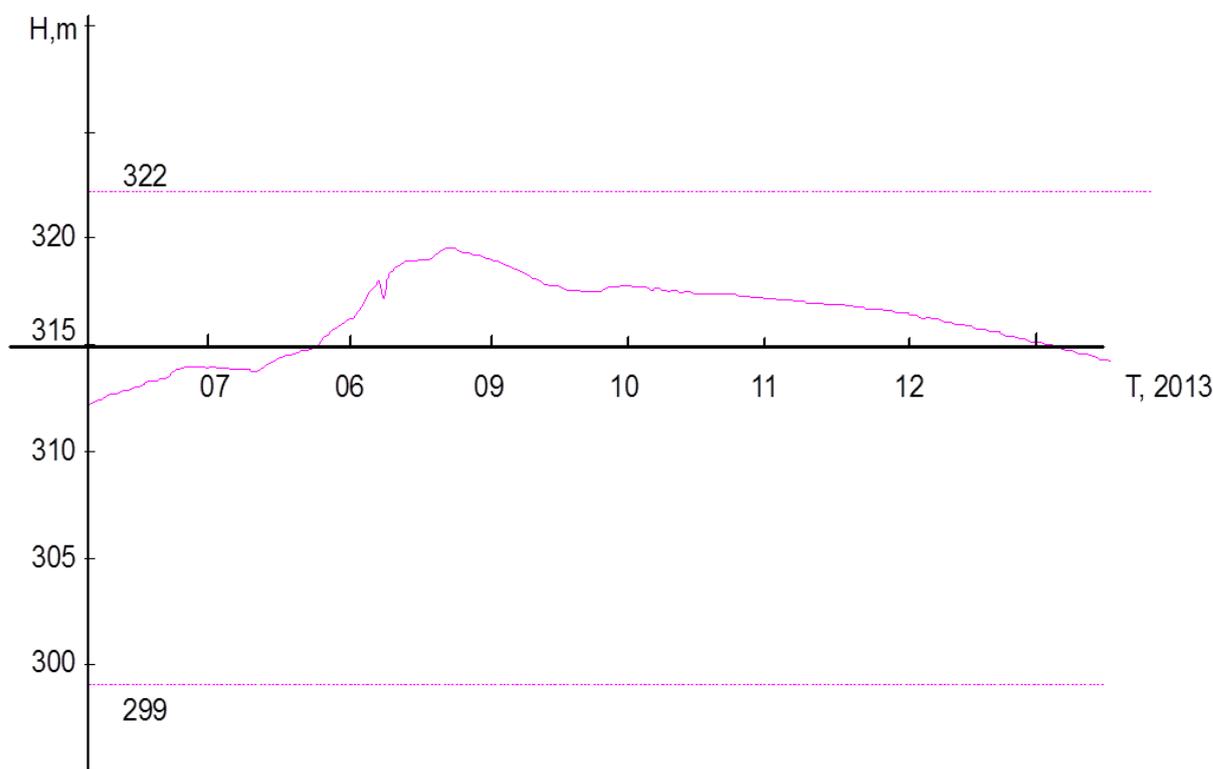


Рис. 2. График наполнения водохранилища за период лето–осень–зима 2013 г.

Это связано с тем, что в настоящее время данная ГЭС не функционирует как противопаводковая. Основной ее целью является извлечение прибыли при продаже электроэнергии.

Для увеличения эффективности ее работы как противопаводковой предлагается ввести штрафные коэффициенты в платежную матрицу игры. В данном случае они обозначены через $1 < x < 10$. Тогда оптимальной стратегией при S_3 будет b_1 – работа гидроагрегатов (без холостых сбросов). Поскольку в этом случае повышается вероятность превышения ФПУ, то естественным выходом из создавшегося положения является снижение уровня предполоводной сработки водохранилища. Напомним, что в 2013 г. этот уровень составил 310,32 м.

5. Имитационная модель Stateflow.

В принципе, проблема определения оптимальных стратегий администрации ГЭС может быть решена аналитически. Для этого необходимо поставить оптимизационную задачу с целевой функцией

$$F = a_i p_k b_k \rightarrow \max$$

и естественными ограничениями $\sum a_i = \sum b_i = 1$.

Решения данной оптимизационной задачи дают оптимальные стратегии администрации b_k^* . Но в данном случае мы имеем не одну, а пять целевых функций, зависящих от состояния S_k водохранилища. Зная плотность распределения вероятностей для состояний $f(S)$, можно вычислить среднее значение целевой функции $\langle F \rangle = \sum Ff$. Однако функция $f(S)$ зависит от состояний S_k , зависящих, в свою очередь, от стратегий b_k , которые мы, собственно, и хотели бы вычислить. Получается замкнутый круг рассуждений, нахождение аналитического решения в котором пока не представляется возможным.

В связи с этим была построена компьютерная имитационная модель ГЭС в виде конечного автомата и проведен ряд численных экспериментов для определения значения целевой функции при различных возможных значениях стратегий природы и администрации. Блок-схема модели ГЭС, построенная с помощью Matlab/Simulink/Stateflow, показана на рис. 3.

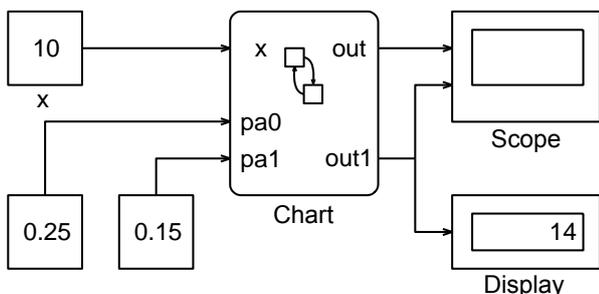


Рис. 3. Simulink блок-схема модели Зейского гидроузла

Входными данными модели являются:
 x – величина штрафных затрат на восстановление последствий ЧС;

$pa0$ – вероятность малого притока;

$pa1$ – вероятность нормального притока.

Выходом являются:

out – текущее состояние водохранилища;

$out1$ – суммарный выигрыш ГЭС.

На рис. 4. показана Stateflow-диаграмма блока Chart [6]. Здесь:

k – счетчик;

a, b – стратегии соответственно природы и администрации;

$z1$ – логическая функция изменения состояния водохранилища.

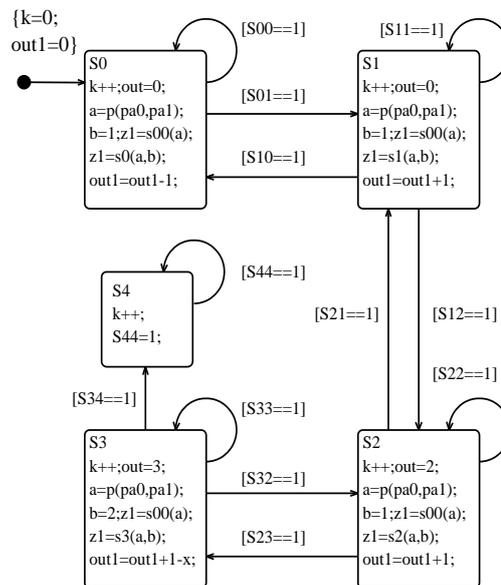


Рис. 4. Stateflow-диаграмма блока Chart

На рис. 5. показана функция $y=p(z0,z1)$, которая управляет стратегиями природы в зависимости от вероятности наступления ЧС.

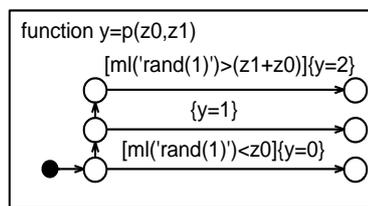


Рис. 5. Вероятностная функция управления стратегиями природы

Аналитически данная функция записывается следующим образом:

$$y(pa0, pa1) = \begin{cases} 0, & \text{если } rand \in [0, pa0); \\ 1, & \text{если } rand \in [pa0, pa0 + pa1]; \\ 2, & \text{если } rand \in (pa0 + pa1, 1]. \end{cases}$$

Функции веса ребер задаются выходными данными автомата, например:

$$s_0(a, b) = \begin{cases} S_{00}=1, & \text{если } (a=0)\&(b=0);(a=0)\&(b=1);(a=0)\&(b=2); \\ & (a=1)\&(b=1);(a=1)\&(b=2);(a=2)\&(b=2)); \\ S_{01}=1, & \text{если } (a=1)\&(b=0);(a=2)\&(b=0);(a=2)\&(b=1)). \end{cases}$$

При моделировании использовался временной интервал k в 20 шагов. Результаты моделирования дают среднее значение затрат администрации $F = 14 \pm 3$ ед. и зависят от штрафного коэффициента x . Однако, несмотря на потенциальные убытки, доминантные стратегии администрации ГЭС на получение прибыли не изменяют среднего значения состояния водохранилища $\langle s \rangle = 1.5$. А это означает, что на ГЭС с вероятностью 0.15 ЧС будут возникать и в будущем.

6. Выводы. Таким образом, по результатам моделирования можно сделать вывод, что при существующей схеме управления ГЭС не может эффективно противодействовать возникновению ЧС, поскольку нацеленность администрации исключительно на прибыль не позволяет гидроузлу выполнять водорегулирующие функции. Даже изменение структуры целевой функции, т.е. добавление количественной ответственности администрации ГЭС за последствия повышения уровня нижнего бьефа серьезно не меняет ситуации.

Конечно, предложенная модель имеет качественный характер описания проблемы. На практике все оказывается намного сложнее. Необходимо отметить, что Зейская ГЭС является федерально значимым объектом, администрация которой не работает в изоляции. С одной стороны, ГЭС является филиалом ОАО «РусГидро» и действует в соответствии с утвержденным Положением. Согласно этому документу основным видом деятельности ГЭС является: «поставка (продажа) электрической энергии и мощности по установленным тарифам в соответствии с торговым графиком (плановым почасовым производством) и командами системного оператора на управление технологическими режимами работы объектов электроэнергетики».

Далее Положение дает ГЭС право осуществлять еще более 20 видов деятельности, (в том числе и не связанных с энергетикой) начиная от «перевозок пассажиров» и «оказания услуг связи» и заканчивая «организацией и проведением оборонных мероприятий по вопросам ... защиты сведений, составляющих государственную тайну». Однако в данном положении ни слова не сказано о паводках, муссонах и наводнениях и о правах и обязанностях руководства ГЭС при работе в условиях ЧС.

С другой стороны, ГЭС в период пропуска паводка осуществляет информационный обмен и взаимодействие с органами власти, МЧС России,

Амурским бассейновым водным управлением, Амурским Гидрометцентром, Управлением эксплуатации Зейского водохранилища [7].

Другими словами, вопросы о величине холостых водосбросов, уровне предполоводной сработки водохранилища решаются или коллегиально, или в строгом соответствии с нормативными документами. Так, например, утвержденные в 1984 г. Министерством мелиорации и водного хозяйства РСФСР «Правила использования водных ресурсов (ПИВР)» устанавливают предполоводную сработку Зейского водохранилища до отметки 310 м. И эти правила никто не отменял.

Необходимо отметить и то, что в настоящее время ГЭС решает множество дополнительных задач, о которых при проектировании и не подозревали [8, 9]. Например, для поддержания 65 км судоходства до устья правого Уркуна в навигационный период с 1 мая по 10 октября устанавливается обязательный минимальный расход в 640 м³/с, что приводит к дополнительной сработке водохранилища. После запуска гидроагрегатов Бурейской ГЭС появляется проблема эффективного перераспределения мощностей и комплексного использования водохранилищ. Другими словами, водопускной режим Зейской ГЭС уже зависит от работы Бурейской ГЭС, которая находится от нее на расстоянии 440 км. В настоящий момент это связано с тем, что основные энергетические потребители находятся на востоке региона в тысяче километров от самих ГЭС. Однако самой главной задачей в ближайшем будущем для Зейской ГЭС станет энергообеспечение космодрома «Восточный».

Данный космодром строится на расстоянии 200 км вниз по течению и располагается на правом берегу реки Зея. Минимальное расстояние от границы космодрома до реки – 2 км. Расстояние от стартового комплекса РН «Союз-2» (Площадка №1) до реки – 12 км. Расстояние от Кислородно-азотного завода (Площадка №3) до реки – 10 км.

Это накладывает дополнительную нагрузку на ГЭС как по энергоснабжению, так и противопожарной безопасности и самого космодрома, и его нового 100 000 ч. города. Как видно из вышесказанного комплекс задач возникающих в регионе носит глобальный характер, и возлагать вину за все возникающие ЧС на администрацию ГЭС было бы не совсем корректно.

Библиографический список

1. **Думачев, В. Н.** Ситуационное моделирование прорыва противопаводковой дамбы во вре-

References

1. **Dumachev, V. N.** Situationsnoe modelirovanie proryva protivopavodkovoy dambyi

мя аномального наводнения на Дальнем Востоке летом 2013 г. / В. Н. Думачев, Н. В. Пешкова, А. В. Калач, А. А. Чудаков // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2013. – №4(9). – С. 35–39.

2. **Дынкин, Е. Б.** Марковские процессы / Е. Б. Дынкин. – М.: Физматлит, 1963. – 860 с.

3. **Нейман, Дж. фон** Теория игр и экономическое поведение / Дж. фон Нейман, О. Моргенштерн. – М.: Наука, 1970. – 708 с.

4. **Кобринский, Н. Е.** Введение в теорию конечных автоматов / Н. Е. Кобринский, Б. А. Трахтенброт. – М.: Физматгиз, 1962. – 404 с.

5. **Русгидро. Бурейская ГЭС. Общие сведения.** – (<http://www.burges.rushydro.ru/>). – (10.03.2014).

6. **Рогачев Г. Н.** Stateflow 5.0. Руководство пользователя. (<http://matlab.exponenta.ru/stateflow/book1>). – (10.03.2014).

7. **Максимов, И. А.** Консультативное обслуживание населения по вопросам безопасности при чрезвычайных ситуациях / Максимов И. А., А. В. Краснокутский, Удилова И. Я. // Вестник Санкт-Петербургского Университета ГПС МЧС России. – 2014. – №1. – С. 5-12.

8. **Колар, Г.** Двойное предназначение. // Энерго-Инфо. – 2008. – №12(24). – С. 10–13.

9. **Калач, А. В.** Особенности моделирования загрязнения водных объектов с использованием геоинформационной специализированной системы «MIKE SHE» / А. В. Калач, Е. С. Карпова // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2011. – Т. 18. – №2. – С. 44–50.

vo vremya anomalnogo navodneniya na Dalnem Vostoke letom 2013 g. / V. N. Dumachev, N. V. Peshkova, A. V. Kalach, A. A. Chudakov // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii. – 2013. – №4(9). – S. 35–39.

2. **Dyinkin, E. B.** Markovskie protsessyi / E. B. Dyinkin. – M.: Fizmatlit, 1963. – 860 s.

3. **Neyman, Dzh. fon** Teoriya igr i ekonomicheskoe povedenie / Dzh. fon Neyman, O. Morgenshtern. – M.: Nauka, 1970. – 708 s.

4. **Kobrinский, N. E.** Vvedenie v teoriyu konechnykh avtomatov / N. E. Kobrinский, B. A. Trahtenbrot. – M.: Fizmatgiz, 1962. – 404 s.

5. **Rusgidro. Bureyskaya GES.** Obschie svedeniya. – (<http://www.burges.rushydro.ru/>). – (10.03.2014).

6. **Rogachev G. N.** Stateflow 5.0. Rukovodstvo polzovatelya. (<http://matlab.exponenta.ru/stateflow/book1>). – (10.03.2014).

7. **Maksimov, I. A.** Konsultativnoe obsluzhivanie naseleniya po voprosam bezopasnosti pri chrezvychaynykh situatsiyah / Maksimov I. A., A. V. Krasnokutskiy, Udilova I. Ya. // Vestnik Sankt-Peterburgskogo Universiteta GPS MChS Rossii. – 2014. – №1. – S. 5-12.

8. **Kolar, G.** Dvoynoe prednaznachenie. // Energo-Info. – 2008. – №12(24). – S.10–13.

9. **Kalach, A. V.** Osobennosti modelirovaniya zagryazneniya vodnykh ob'ektov s ispolzovaniem geoinformatsionnoy spetsializirovannoy sistemy «Mike she» / A. V. Kalach, E. S. Karpova // Problemy upravleniya riskami v tehnosfere. – 2011. – T.18. - №2. – S. 44–50.

STATEFLOW SIMULATION OF ZEYSKAYA HYDROELECTRIC POWER STATION IN DURING FLOODS

Dumachev V. N.,

PhD in Physics and Mathematics, Assoc. Prof.,
Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of the Russian Federation;
Russia, Voronezh, tel.: (473)262-33-79, e-mail: dumv@comch.ru

Peshkova N. V.,

Adjunct,
Voronezh Institute of the Ministry of the Interior of the Russian Federation;
Russia, Voronezh, tel.: (473)262-33-79

Kalach A. V.,

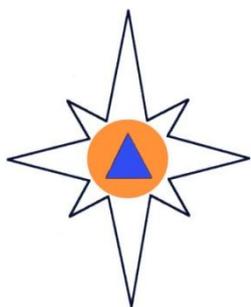
D. Sc. in Chemistry, Assoc. Prof.,
Voronezh Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia,
Russia, Voronezh, tel.: (473) 236-33-05, e-mail: AVKalach@gmail.com

Chudakov A. A.,

Senior Lecturer,
Voronezh Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia,
Russia, Voronezh, e-mail: vigps@mail.ru

To describe the natural emergencies in this paper we propose a model that combines the theory of Markov chains, and game theory as finite-state machine. As an example, a model operation of hydroelectric power station in during floods is considered, and optimal strategy for its maintenance is determined.

Keywords: matrix games, extreme strategy, natural emergencies.



ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЗА СЧЕТ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЕННОЙ И СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Г. В. Зибров, В. Н. Старов, Е. В. Смоленцев, А. В. Попов

Предложены пути, обеспечивающие повышение работоспособности военной и специальной техники и выбора технологических методов, используемых при восстановлении эксплуатационных характеристик сложных изделий.

Ключевые слова: отказы элементов конструкций, неразрушающие методы диагностики, акустическая эмиссия, интенсивность технологического воздействия, критерий оценки при выборе технологического метода, технологическая наследственность, методы обработки, эксплуатационные характеристики.

Статистика отказов силовых элементов конструкций военной и специальной техники (ВСТ) показывает, что наиболее частыми причинами технических отказов являются зарождение и развитие трещин. Причины их появления несколько. Во-первых, они являются результатом накопленных дефектов, полученных от различных внешних эксплуатационных воздействий. Во-вторых, это не полностью учтенные на стадиях жизненного цикла изделия (ЖЦИ) влияния производственных технологических процессов,

отсутствие должного внимания к факторам технологической наследственности в ЖЦИ.

Для определения прочностных характеристик сложных конструкций необходимо оценивать кинетику накопления и развития дефектов, что может обеспечить получение достоверной оценки прочности конструкции ВСТ по фактическому состоянию.

Существуют различные методы неразрушающего определения прочности конструкций ВСТ, большинство которых основано на сканировании поверхностей либо проведении изучения подповерхностных слоев материала конструкции. Однако в указанных случаях дефекты не ранжируются по степени опасности. Из неразрушающих методов контроля высокой достоверностью и точностью выделяется метод акустической эмиссии (АЭ), который позволяет обнаруживать опасные развивающиеся дефекты, оценивать их размеры, степень опасности, прогнозировать разрушающую нагрузку и ресурс конструкции и другие.

Особенностью метода АЭ является возможность регистрации, обработки и анализа акустических процессов, несущих информацию об опасных развивающихся дефектах в силовых элементах, и таким образом делать выводы о прочности и ресурсе конструкций.

Авторами предложен новый подход к определению прочностных характеристик силовых элементов ВСТ, основанный на оценке изменения распределений числа актов АЭ на фиксированных ин-

Зибров Геннадий Васильевич, д-р пед. наук, проф., Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж); Россия, г. Воронеж, тел.: (473)236-90-18, e-mail: academy-vvs.ru

Старов Виталий Николаевич, д-р техн. наук, проф., Воронежский институт ГПС МЧС России; Россия, г. Воронеж, e-mail: vigps_onirio@mail.ru

Смоленцев Евгений Владиславович, д-р техн. наук, проф., Воронежский государственный технический университет; Россия, г. Воронеж, тел.: (473)246-27-72

Попов Алексей Владимирович, д-р техн. наук, доц., Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж); Россия, г. Воронеж, тел.: (473)236-90-18

тервалах времени в процессе деформирования конструкций. На этой основе запатентованы способы оценки процессов разрушения конструкций при акустико-эмиссионном контроле [1, 2]. Высокоточное определение прочностных характеристик элементов конструкций ВСТ проводят вне зависимости от их предыстории эксплуатации, формы и размеров достигнимо с использованием метода функциональных инвариантов, основанного на определении степени отклонения («разладки») распределений амплитуд сигналов АЭ процессов при деформировании [3].

Задачей исследования являлась необходимость знать о состоянии объекта на различных этапах ЖЦИ и управлять развитием интересующих нас процессов. В этой связи исследованы особенности выбора или разработки технологических методов воздействий (\bar{X}) на эксплуатационные показатели (\bar{y}).

В общем виде связь между технологическими воздействиями (\bar{X}) и эксплуатационными показателями (\bar{y}) выражается функциональной зависимостью (Φ) вида:

$$\bar{y} = \varphi(\bar{x}). \quad (1)$$

В момент выявления какой-то нештатной ситуации в изделии величина \bar{y} выходит за установленные граничные условия для исследуемого показателя и принимает значение

$$\bar{y} > \bar{y}_H \pm |\Delta \bar{y}|, \quad (2)$$

где \bar{y}_H - номинальное значение эксплуатационного показателя; $|\Delta \bar{y}|$ предельная величина измерения \bar{y}_H , установленная нормативными документами. Тогда на изменение параметра \bar{y}_H влияет интенсивность технологического воздействия (\bar{X}), которое зависит от его вида и оценивается через коэффициент значимости (k_{i3}) для «i»-го воздействия. Для этого требуется установить изменение $\Delta \bar{y}$ от полученного при каких-то проведенных испытаниях значения \bar{X} . Границы изменения каждого «i»-го параметра \bar{X} заданы в пределах, например, как

$$G(\Delta \bar{y}) = P\{ \bar{X} < X \}. \quad (3)$$

Если принять функцию « Φ » в ф.(1) гладкой монотонно изменяющийся, то её распределение имеет вид [4]

$$G(\Delta \bar{y}) = \int_a^{\bar{a}} F(x) dx. \quad (4)$$

При известном законе (4) функция распределения получает численные значения, дающие возможность разработать механизм управления качеством изделий на основании статистической информации о появлении нештатных ситуаций в процессе испытаний и предполетной подготовки изделия (например, ракеты, самолета и т.п.). Это позволяет обоснованно подобрать эффективные технологические методы восстановления или приемы, необходимые для ликвидации возникшей ситуации и предотвратить возможности повторения причин нарушения работоспособности изделий. Кроме того открывается возможность заранее разработать новые технологические процессы, эффективно повышающие качество изделий.

Известно [4, 5], что функция распределения $\{F(x)\}$ представляет вероятностную (P) связь воздействия со случайной величиной \bar{X} в пределах заданного значения x

$$F(x) = P\{ \bar{X} < x \} \quad (5)$$

Воздействие технологического фактора по времени $\{ \bar{X}(\tau) \}$ рассматривается, как дискретная функция, имеющая в момент времени τ значение

$$F(\tau, x) = P\{ \bar{X}(\tau) < x \}. \quad (6)$$

Величина $\bar{x}(\tau)$ отражает совместное воздействие N технических факторов на качество $\{F(\tau, x)\}$ изделия. Каждый интервал времени воздействия обеспечивает показатель (y) качества конкретного изделия, определяя его эксплуатационные показатели. Количество единиц изделий (k) в рассматриваемый период (τ) действия случайного фактора (\bar{X}) определяет качественные показатели продукции, передаваемой потребителю для эксплуатации. Они ограничены техническими требованиями, заданными разработчиком.

Тогда векторное значение технологического воздействия $\{ \bar{X}(\tau) \}$ может быть выражено через величины \bar{X}

$$\bar{x}(\tau) = \{ \bar{x}_1(\tau), \bar{x}_2(\tau), \dots, \bar{x}_N(\tau) \} \quad (7)$$

В ф.(7) все результаты (y) N воздействий подчиняются установленным ограничениям технологических параметров (например, допуском).

Функция распределения для воздействий имеет вид:

$$F \begin{pmatrix} \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k, \\ x_1, x_2, \dots, x_{1k}, \\ x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2k}, \\ \vdots \\ x_{N1}, x_{N2}, \dots, x_{Nk} \end{pmatrix} = P \left\{ \begin{array}{l} \bar{x}_1(\tau_1) < x_{11}, \bar{x}_1(\tau_2) < x_{12}, \dots, \bar{x}_1(\tau_k) < x_{1k}; \\ \bar{x}_2(\tau_1) < x_{21}, \bar{x}_2(\tau_2) < x_{22}, \dots, \bar{x}_2(\tau_k) < x_{2k}; \\ \vdots \\ \bar{x}_M(\tau_1) < x_M, \bar{x}_M(\tau_2) < x_{M2}, \dots, \bar{x}_M(\tau_k) < x_{Mk} \end{array} \right\} = \quad (8)$$

$$= P \left\{ \prod_{i=1}^M \{ \bar{x}_i(\tau_1) < x_{i1}, \bar{x}_i(\tau_2) < x_{i2}, \dots, \bar{x}_i(\tau_k) < x_{ik} \} \right\}.$$

P – суммарный показатель воздействия технологических факторов.

Выбор наиболее действенных и обоснованных технологических приемов также строится на базе статистики и подчиняется стохастическим закономерностям.

$$\bar{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}. \quad (9)$$

Критерием оценки при выборе технологического метода может служить: уровень исследуемой разработки (известность, результаты использования, наличие, доступность); уровень воздействия на качество продукции; технический уровень изделия; технико-экономическое обоснование и др.

С учетом ф. (1) закон распределения случайной величины имеет запись [4]

$$G(\Delta \bar{y}) = \int_{-\infty}^{\infty} (N-1) \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \int_{\varphi(x_1, \dots, x_n) < y} f_{1,2,3, \dots, N}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n) d\bar{x}_1 \right\} \times f_{2,3, \dots, N}(\bar{x}_2, \dots, \bar{x}_N) d\bar{x}_2, \dots, d\bar{x}_N \quad (10)$$

Здесь плотность распределения величины \bar{x}

$$f_{2,3, \dots, N}(\bar{x}_2, \dots, \bar{x}_N) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_N) d\bar{x}_1 \quad (11)$$

Условие обоснованного выбора требуемого технологического процесса для устранения конкретного отклонения ($\Delta \bar{y}$) будет

$$\bar{x}_2, \bar{x}_3, \dots, \bar{x}_N \in \left\{ \begin{array}{l} \bar{x}_2, \bar{x}_2 + d\bar{x}_2 \\ \bar{x}_3, \bar{x}_3 + d\bar{x}_3 \\ \vdots \\ \bar{x}_N, \bar{x}_N + d\bar{x}_N \end{array} \right\} \quad (12)$$

Если учесть реальное время, в течение которого принятый прием воздействует на исследуемые показатели качества и надежности, то получаем зависимость ф.(13), близкую к ф.(8).

Эта зависимость является математической моделью или инструментом для отбора возможных вариантов технологических процессов, обеспечивающих требуемые эксплуатационные характеристики изделий.

$$G(\Delta \bar{y}) = \int_{-\infty}^{\infty} (N-1) \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \int_{\varphi(x(\tau)_1, \dots, x(\tau)_N) < y} f_{1,2,3, \dots, N} \begin{pmatrix} \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k, \\ \bar{x}_{11}, \bar{x}_{12}, \dots, \bar{x}_{1k}, \\ \bar{x}_{21}, \bar{x}_{22}, \dots, \bar{x}_{2k}, \\ \vdots \\ \bar{x}_{N1}, \bar{x}_{N2}, \dots, \bar{x}_{Nk} \end{pmatrix} d\bar{x}_1 \right\} \times \quad (13)$$

$$\times f_{2,3, \dots, N} \begin{pmatrix} \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k, \\ \bar{x}_{21}, \bar{x}_{22}, \dots, \bar{x}_{2k}, \\ \vdots \\ \bar{x}_{N1}, \bar{x}_{N2}, \dots, \bar{x}_{Nk} \end{pmatrix} d\bar{x}_2 \dots d\bar{x}_N$$

После первичного отбора вариантов может потребоваться экспертный анализ, проводящийся по известным методикам. Зависимость ф. (13) можно заметно упростить, если принять, что рассмат-

риваемые технологические методы (технологии создания изделия, правила его эксплуатации), приводящие к конкретным результатам не зависят друг от друга. Получим следующее выражение [4]

$$G(\Delta \bar{y}) = \int_{-\infty}^{\infty} (N-1) \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \int_{\varphi(x_1, \dots, x_N)} f_1(\bar{x}_1) d\bar{x}_1 \right\} f_2(\bar{x}_2) \dots f_N(\bar{x}_N) d\bar{x}_2 \dots d\bar{x}_N \cdot \quad (14)$$

В качестве примера выбора технологических приемов представим рассмотренные нами ранее [5] некоторые случаи, возникающие на этапе жизненного цикла изделия от изготовителя до стартовой площадки ракеты при предполетной подготовке.

Принято, что величина $\Delta \bar{y}$ находится через коэффициент зависимости (k_{i3}) каждого i -го отклонения параметра A_i , влияющего на качество произведенного изделия (эксплуатируемого или испытываемого объекта), надежность, безопасности эксплуатации и работоспособность изделия в целом

$$\Delta \bar{y}_i = k_{i3} A_i \leq [\Delta y_i]. \quad (15)$$

Значимость действия параметров ф.(15) оценивают по зависимости от заданной величины предельного изменения каждого параметра. Если возникшее или выявленное отклонение (повреждение) не вызывает изменения в работе изделия или целостности прочности элементов его конструкции, то возможна дальнейшая эксплуатация объекта.

Для этого необходимо выполнить штатные действия по эксплуатации изделия, например, путем замены поврежденных элементов.

При положительных результатах испытаний выполняют регламентные работы и передают изделие на хранение (в эксплуатацию). При наличии отклонений в работе (обнаружения повреждений) принимают решение о месте устранения замечаний и дефектов. Это может быть у потребителя (замена агрегатов, узлов, деталей и т.п.), у изготовителя, на ремонтных предприятиях.

По информации, приведенной в таблице, выполняют анализ нештатной ситуации, оценивают её значимость, уровень нарушения работоспособности изделия (если это имеет место), обосновывают необходимость и объем испытаний объекта.

В случае необходимости выполняют повторные полные или частичные испытания и по их результатам судят о возможности дальнейшего использования данной техники или принимают решение о путях восстановления её качества и работоспособности при эксплуатации.

Таблица

Величина коэффициента значимости k_{i3} при нештатных ситуациях

№ п/п	Источник возникновения нештатной ситуации	Возможные варианты нештатных ситуаций					
		Утрата работоспособности изделия		Повреждения изделия		Повреждение упаковки	
		k_{i3}	Управленческие решения	k_{i3}	Управленческие решения	k_{i3}	Управленческие решения
1	Авария при транспортировке от исполнителя к заказчику	0,1-0,2	Отправка изготовителю на восстановление работоспособности	0,03-0,05	Испытания, контроль, обоснование места восстановления	0 -0,03	Испытания и контроль у заказчика
2	Нарушения условий хранения	0,1-0,2	Испытания и контроль состояния и сроков Обоснование возможности и места восстановления	0,01-0,05	Испытания и контроль на месте, обоснование необходимости и места восстановления	0 -0,2	Испытания и контроль на месте (кроме продления сроков хранения)
3	Нарушение регламента предполетной подготовки	0,2-0,3	Испытания и принятие решения о месте восстановления работоспособности	0,03-0,05	Анализ причин, испытания и профилактика нарушений	0,1-0,2	Инструментальный контроль и испытания Уточнение регламента

Таким образом, в работе указаны пути повышения работоспособности техники и выбора технологических методов в направлениях восста-

новления эксплуатационных характеристик сложной техники предназначенной решать актуальные задачи МЧС России и МО.

Библиографический список

1. Пат. № 2367941, Российская Федерация. Способ оценки процессов разрушения конструкций при акустико-эмиссионном контроле / Попов А. В., Кондранин Е. А.
2. Пат. № 2367942, Российская Федерация. Способ оценки процессов разрушения конструкций при акустико-эмиссионном контроле / Попов А. В., Кондранин Е. А.
3. Попов, А. В. Методы определения эксплуатационной пригодности силовых элементов конструкций вооружения и военной техники на основе инвариантов акустико-эмиссионных процессов / А.В. Попов, В.Н. Старов, Д.Е. Барабаш, С.Ю. Жачкин // Вестник ВАИУ. – 2012. – № 1(15). – С 28–36.
4. Смоленцев, Е. В. Проектирование электрических и комбинированных методов обработки / Е.В. Смоленцев. – М.: Машиностроение, 2005 – 511 с.
5. Омигов, Б. И. Технология электрохимической размерной обработки как один из путей повышения долговечности транспортной техники / Б. И. Омигов, Е. В. Смоленцев // Справочник. Инженерный журнал. – 2010. – №5. – С. 19–24.

References

1. Pat. № 2367941, Rossiyskaya Federatsiya. Sposob otsenki protsessov razrusheniya konstruktsiy pri akustiko-emissionnom kontrole / Popov A. V., Kondranin E. A.
2. Pat. № 2367942, Rossiyskaya Federatsiya. Sposob otsenki protsessov razrusheniya konstruktsiy pri akustiko-emissionnom kontrole / Popov A. V., Kondranin E. A.
3. Popov, A. V. Metodyi opredeleniya ekspluatatsionnoy prigodnosti silovyyih elementov konstruktsiy vooruzheniya i voennoy tehniky na osnove invariantov akustiko-emissionnykh pro-tsessov / A. V. Popov, V. N. Starov, D. E. Barabash, S. Yu. Zhachkin // Vestnik VAIU. – 2012. – № 1(15). – S 28–36.
4. Smolentsev, E. V. Proektirovanie elektricheskikh i kombinirovannykh metodov obrabotki / E.V. Smolentsev. – M.: Mashinostroenie, 2005 – 511 s.
5. Omigov, B. I. Tehnologiya elektrohimi-cheskoy razmernoy obrabotki kak odin iz putey povyisheniya dolgovechnosti transportnoy tehniky / B. I. Omigov, E. V. Smolentsev // Spravochnik. Inzhenernyy zhurnal. – 2010. – №5. – S. 19–24.

INCREASE EFFICIENCY THROUGH THE RESTORATION OF TECHNOLOGICAL METHODS OF OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF MILITARY AND SPECIAL EQUIPMENT

Zibrov G. V.,

D. Sc. in Pedagogics, Prof.
Military Educational and Scientific Center of the Air Force
«Air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky
and Y. A. Gagarin» (Voronezh);
Russia, Voronezh, tel.: (473)236-90-18

Starov V. N.,

D. Sc. in Engineering, Prof.
Voronezh Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia;
Russia, Voronezh, e-mail: vigps_onirio@mail.ru

Smolencev E. V.,

D. Sc. in Engineering, Prof.
Voronezh State Technical University;
Russia, Voronezh, tel.: (473)246-27-72

Popov A. V.,

D. Sc. in Engineering, Assoc. Prof.,
Military Educational and Scientific Center of the Air Force
«Air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky
and Y. A. Gagarin» (Voronezh);
Russia, Voronezh, tel.: (473)236-90-18

The ways that enhance the health of military and special equipment and the choice of technological methods used in the recovery of operational characteristics of complex products.

Key words: *the failure of structural elements, non-destructive methods of diagnostics, acoustic emission, the intensity of the technological impact, the evaluation criterion for the choice of technological method, technological heredity, processing methods, operational characteristics.*



МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

УДК 517.953

О КОРРЕКТНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МАЛЫХ ПОПЕРЕЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ СТИЛТЬЕСОВСКОЙ СТРУНЫ С ПРОИЗВОЛЬНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ МАСС

Меач Мон

Существование классического решения математической модели, описывающей некоторый процесс в среде с особенностями, которые приводят к потере гладкости у решения, очень важны для приложений. В работе используется поточечный подход к трактовке решения, предложенный Ю.В. Покорным в 1999 году. Этот подход показал свою эффективность не только при изучении линейных одномерных краевых задач, но и нелинейных.

Ключевые слова: математическая модель, стилтьесовская струна, собственные колебания, вынужденные колебания, корректность модели.

Введение. Для приложений важно знать значение решения в каждой точке, а для анализа решения – и ее производных до некоторого порядка. В то же время наличие локализованных особенностей у внешней среды (типа пружины), сосредоточенных сил у внешней силы и внутренних особенностей системы, как правило, приводит к потере гладкости у решения. Применение теории обобщенных функций к данным задачам не дает нужного эффекта, так как проявляется ряд трудно разрешимых проблем. Во-первых, возникает необходимость умножения обобщенной функции на разрывную, а это проблема не решена до сих пор. Во-вторых, при обобщенной трактовке исследователь может гарантировать наличие только слабого решения, что в приложениях не дает требуемой информации.

Мы используем поточечный подход, предложенный Ю.В. Покорным [1] в 1999 году и показавший свою эффективность в одномерных задачах [2–9].

1. Проблема разрешимости математической модели малых колебаний стилтьесовой

Меач Мон, аспирант,
Воронежский государственный университет;
Россия, г. Воронеж, e-mail: meach_mon@yahoo.com

струны. В этом параграфе доказывается, что при определенных условиях на начальные данные и $f(x, t)$ решение математической модели

$$\begin{cases} M_\sigma(x) \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(p(x) \frac{\partial u}{\partial x} \right) - u \frac{dQ}{d\sigma} + f(x, t), \\ u(0, t) = u(\ell, t) = 0, \\ u(x, 0) = \varphi_0(x), \\ u_t(x, 0) = \varphi_1(x), \end{cases} \quad (1)$$

существует в классе E – функций $u(x, t)$ непрерывных по совокупности переменных, сама функция $u(x, t)$ и ее производная $u'_x(x, t)$ при всех фиксированных x имеют непрерывные производные до второго порядка по переменной t ; при каждом t $u(x, t)$ абсолютно непрерывна по переменной x на отрезке $[0; \ell]$; первая производная $u'_x(x, t) - \sigma$ абсолютно непрерывна по переменной x для всякого фиксированного t .

Уравнение в (1) задано при всех (x, t) , принадлежащих декартовому произведению множеств $[0; \ell]_\sigma$ и $[0; T]$. Первое множество строится следующим образом. Пусть $S(\sigma)$ – множество точек разрыва функции $\sigma(x)$, которая порождает на $[0; \ell]$ меру σ .

На $[0; \ell]$ введем метрику $\rho(x; y) = |\sigma(x) - \sigma(y)|$. Достаточно очевидно, что $0; \ell, \rho$ – неполное метрическое пространство. Стандартное пополнение (с точностью до изоморфизма) приводит к множеству $\overline{[0; \ell]}_\sigma$, в котором каждая точка $\xi \in S(\sigma)$ заменяется на тройку собственных элементов $\xi - 0; \xi; \xi + 0$.

Пусть $G(x, s)$ – функция влияния граничной задачи

$$\begin{cases} Lv \equiv -\frac{d}{d\sigma} \left(p(x) \frac{dv}{dx} \right) + v \frac{dQ}{d\sigma} = \frac{dF}{d\sigma}, \\ v(0) = v(\ell) = 0, \end{cases}$$

существование и единственность которой доказаны в работах [2], [3].

Тогда, разрешимость математической модели (1) эквивалентна разрешимости системы

$$\begin{cases} -\int_0^\ell G(x, s) \left[M_\sigma(s) \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}(s, t) - f(s, t) \right] d\sigma(s) = u(x, t), \\ u(x, 0) = \varphi_0(x), \\ u_t(x, 0) = \varphi_1(x). \end{cases} \quad (2)$$

Проинтегрировав дважды по переменной t в пределах от 0 до t получим, что разрешимость (2) эквивалентна разрешимости в E уравнения Фредгольма первого рода

$$(Au)(x, t) = z(x, t), \quad (3)$$

где

$$(Au)(x, t) = \int_0^\ell G(x, s) u(s, t) dM(s) + \int_0^t (t - \tau) u(x, \tau) d\tau \quad (4)$$

и

$$z(x, t) = \int_0^\ell G(x, s) \left[\varphi_0(s) + t\varphi_1(s) + \int_0^t (t - \tau) f(s, \tau) d\tau \right] d\sigma(s). \quad (5)$$

Нетрудно видеть, что уравнение (3) имеет

$$\begin{aligned} & \int_0^{T^*} \int_0^\ell \frac{\partial u}{\partial t} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} M_\sigma(x) - \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(p(x) \frac{\partial u}{\partial x} \right) + u \frac{dQ}{d\sigma} \right) d\sigma dt = \\ & \frac{1}{2} \int_0^\ell \left[\left(\frac{\partial u}{\partial t}(x, T^*) \right)^2 - \left(\frac{\partial u}{\partial t}(x, 0) \right)^2 \right] dM(x) - \int_0^{T^*} \left[p(x) \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial t} \Big|_{x=0}^{x=\ell} - \int_0^\ell \frac{\partial u}{\partial x} d_x \left(\frac{\partial u}{\partial t} \right) \right] dt + \frac{1}{2} \int_0^\ell \left(u^2(x, T^*) - u^2(x, 0) \right) dQ(x) = \\ & = \frac{1}{2} \int_0^{T^*} \left(\frac{\partial u}{\partial t}(x, T^*) \right)^2 dM(x) - \frac{1}{2} \int_0^\ell \varphi_1^2(x) dM(x) + \frac{1}{2} \int_0^\ell p(x) \left(\frac{\partial u}{\partial x}(x, T^*) \right)^2 dx - \frac{1}{2} \int_0^\ell p(x) \varphi_0^2(x) dx + \\ & + \frac{1}{2} \int_0^\ell u^2(x, T^*) dQ(x) - \frac{1}{2} \int_0^\ell \varphi_0^2(x) dQ(x), \end{aligned}$$

решение в E , если функция $z(x, t)$ образует множества E , т. е. $z \in AE$.

Единственность классического решения математической модели (1) доказана А.В. Баевым [10].

2. Корректность математической модели малых колебаний струны с произвольным распределением масс. В этом параграфе показывается, что при малом изменении начальных условий $\varphi_0(x)$ и $\varphi_1(x)$ соответствующее решение математической модели

$$\begin{cases} M_\sigma(x) \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(p(x) \frac{\partial u}{\partial x} \right) - u \frac{dQ}{d\sigma} + f(x, t), \\ u(0, t) = u(\ell, t) = 0, \\ u(x, 0) = \varphi_0(x), \\ u_t(x, 0) = \varphi_1(x), \end{cases} \quad (6)$$

изменяется мало.

Пусть $u_1(x, t)$ и $u_2(x, t)$ – решения модели (6) при начальных данных $\varphi_0^{(1)}(x)$, $\varphi_1^{(1)}(x)$ и $\varphi_0^{(2)}(x)$, $\varphi_1^{(2)}(x)$ соответственно, т. е. решения моделей

$$\begin{cases} M_\sigma(x) \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(p(x) \frac{\partial u}{\partial x} \right) - u \frac{dQ}{d\sigma} + f(x, t), \\ u(0, t) = u(\ell, t) = 0, \\ u(x, 0) = \varphi_0^{(i)}(x), \\ u_t(x, 0) = \varphi_1^{(i)}(x), \end{cases} \quad (7)$$

($i=1, 2$). Обозначим через $u(x, t)$ их разность: $u(x, t) = u_1(x, t) - u_2(x, t)$.

Также как и при доказательстве единственности решения математической модели, для функции $u(x, t)$ рассмотрим интеграл

$$\int_0^{T^*} \int_0^\ell \frac{\partial u}{\partial t} \left(M_\sigma(x) \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(p(x) \frac{\partial u}{\partial x} \right) + u \frac{dQ}{d\sigma} \right) d\sigma dt, \quad (8)$$

который равен нулю.

С другой стороны, разбивая интеграл (8) на три, интегрируя второй интеграл по частям и применяя те же рассуждения, что и в работе [10], будем иметь

так как $u(x, 0) = \varphi_0(x)$, $u_x(x, 0) = \varphi_{0,x}(x)$, $u_t(x, 0) = \varphi_1(x)$ и $\frac{\partial u}{\partial x}(0, t) = \frac{\partial u}{\partial x}(\ell, t) = 0$ в силу граничных условий. Таким образом, приходим к равенству

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \int_0^\ell \left(\frac{\partial u}{\partial t}(x, T^*) \right)^2 dM(x) + \\ & + \frac{1}{2} \int_0^\ell p(x) \left(\frac{\partial u}{\partial x}(x, T^*) \right)^2 dx + \frac{1}{2} \int_0^\ell u^2(x, T^*) dQ(x) = \quad (9) \\ & = \frac{1}{2} \int_0^\ell \varphi_1^2(x) dM(x) + \\ & + \frac{1}{2} \int_0^\ell p(x) \varphi_0^2(x) dx + \frac{1}{2} \int_0^\ell \varphi_0^2(x) dQ(x), \end{aligned}$$

из которого следует, что левая часть мала, так как по условию правая часть мала. Обозначая через ε правую часть равенства (9), найдем, что для всякого $T^* \in [0, T]$ и каждого $x \in [0; \ell]$ будем иметь

$$\int_0^x \left(\frac{\partial u}{\partial t}(s, T^*) \right)^2 dM(s) \leq \varepsilon \quad (x \in \overline{[0; \ell]}_s) \quad (10)$$

и

$$\int_0^x p(x) \left(\frac{\partial u}{\partial x}(s, T^*) \right)^2 ds \leq \varepsilon.$$

Библиографический список

1. **Покорный, Ю. В.** Интеграл Стильеса и производные по мере в обыкновенных дифференциальных уравнениях / Ю. В. Покорный // ДАН. – 1999. – Т. 364. – № 2. – С. 167-169.
2. **Покорный, Ю. В.** Осцилляционная теория Штурма–Лиувилля для импульсных задач / Ю. В. Покорный, М. Б. Зверева, С. А. Шабров // Успехи математических наук. – 2008. – Т. 63. – Вып. 1 (379). – С. 98–141.
3. **Осцилляционный метод Штурма** в спектральных задачах / Покорный Ю.В. [и др.] – М.: Физматлит, 2009. – 192 с.
4. **Покорный, Ю. В.** О нерегулярном расширении осцилляционной теории спектральной задачи Штурма–Лиувилля / Ю. В. Покорный, М. Б. Зверева, А. С. Ищенко, С. А. Шабров // Математические заметки. – 2007. – Т. 82. – № 4. – С. 578-582.
5. **Pokorny, Yu. V.** An Irregular Extension of the Oscillation Theory of the Sturm-Liouville Spectral Problem / Yu.V. Pokorny, M.B. Zvereva, S.A. Shabrov, A.S. Ishchenko // Mathematical Notes. – 2007. – Т. 82. – № 3-4. – С. 518-521.
6. **Pokorny, Yu. V.** Toward a Sturm-Liouville Theory for an Equation with Generalized Coefficients / Yu. V. Pokorny, S. A. Shabrov // Journal of Mathematical Sciences. – 2004. – Т. 119. – № 6. – С. 769-787.
7. **Давыдова, М.Б.** О числе решений нелинейной краевой задачи с интегралом Стильеса / М.Б. Давыдова, С.А. Шабров // Известия Саратов-

Покажем, что для всех $x \in [0; \ell]$ и $T^* \in [0; T]$ величина $|u(x, T^*)|$ мала, если ε мало. Имеем (после применения неравенства Коши–Буняковского)

$$\begin{aligned} |u(x, T^*)| & \leq \left(\int_0^x 1^2 ds \right)^{1/2} \left(\int_0^x \left(\frac{\partial u}{\partial s}(s, T^*) \right)^2 ds \right)^{1/2} \leq \\ & \leq \sqrt{\ell} \left(\int_0^\ell \left(\frac{\partial u}{\partial x}(s, T^*) \right)^2 \frac{ds}{p(s)} \right)^{1/2} \leq \sqrt{\frac{\ell}{c_0}} \sqrt{\varepsilon}, \end{aligned}$$

где $c_0 = \min_{x \in [0; \ell]} p(x) > 0$. Таким образом, из

последнего неравенства и следует требуемое. Другими словами, показана корректность математической модели малых вынужденных колебаний стилисьевской струны.

Заключение. В работе доказана корректность математической модели вынужденных малых колебаний струны с произвольным распределением масс, помещенной во внешнюю среду с локализованными особенностями. Корректность модели позволяет утверждать: задача нечувствительна к незначительным изменениям начальных данных, что позволяет применять различные численные схемы нахождения приближенного решения, как, например, в работах [11]–[15].

References

1. **Pokorny, Yu. V.** Integral Stiltesa i proizvodnyie po mere v obyknovennyih differentsialnyih uravneniyah / Yu.V. Pokorny // DAN. – 1999. – Т. 364. – № 2. – S. 167-169.
2. **Pokorny, Yu. V.** Ostsillyatsionnaya teoriya Shturma–Liuvillya dlya impulsnyih zadach / Yu. V. Pokorny, M. B. Zvereva, S. A. Shabrov // Uspehi matematicheskikh nauk. – 2008. – Т. 63. – Vyip. 1 (379). – S. 98–141.
3. **Ostsillyatsionnyy metod Shturma** v spektralnyih zadachah / Pokorny Yu.V. i dr. – M.: Fizmatlit, 2009. – 192 s.
4. **Pokorny, Yu. V.** O neregulyarnom rasshirenii ostsillyatsionnoy teorii spektralnoy zadachi Shturma–Liuvillya / Yu. V. Pokorny, M. B. Zvereva, A. S. Ischenko, S. A. Shabrov // Matematicheskie zametki. – 2007. – Т. 82. – № 4. – S. 578-582.
5. **Pokorny, Yu. V.** An Irregular Extension of the Oscillation Theory of the Sturm-Liouville Spectral Problem / Yu.V. Pokorny, M.B. Zvereva, S.A. Shabrov, A.S. Ishchenko // Mathematical Notes. – 2007. – Т. 82. – № 3-4. – S. 518-521.
6. **Pokorny, Yu. V.** Toward a Sturm-Liouville Theory for an Equation with Generalized Coefficients / Yu. V. Pokorny, S. A. Shabrov // Journal of Mathematical Sciences. – 2004. – Т. 119. – № 6. – S. 769-787.
7. **Davydova, M. B.** O chisle resheniy nelineynoy kraevoy zadachi s integralom Stiltesa / M.B. Davydova, S.A. Shabrov // Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Matematika.

ского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. – 2011. – Т. 11. – № 4. – С. 13–17.

8. **Давыдова, М. Б.** О нелинейных теоремах сравнения для дифференциальных уравнений второго порядка с производными Радона-Никодима / М. Б. Давыдова, С. А. Шабров // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Физика. Математика. – 2013. – № 1. – С. 155-160.

9. **Шабров, С. А.** Об одной математической модели малых деформаций стержневой системы с внутренними особенностями / С. А. Шабров // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Физика. Математика. – 2013. – № 1. – С. 232-250.

10. **Баев, А. Д.** О единственности решения математической модели вынужденных колебаний струны с особенностями / А. Д. Баев, С. А. Шабров, Меач Мон // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Физика. Математика. – 2014. – № 1. – С. 50-55.

11. **Зверева, М. Б.** Об адаптации метода конечных элементов для решения граничной задачи с дифференциалами Стильеса на геометрическом графе / М. Б. Зверева, С. А. Шабров, Е. В. Лылов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Физика. Математика. – 2014. – № 1. – С. 97–105.

12. **Шепилова, Е. В.** О решении уравнения типа Шредингера с постоянным оператором проекционно-разностным методом со схемой Кранка-Николсон по времени / Е. В. Шепилова // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Физика. Математика. – 2011. – № 2. – С. 141-146.

13. **Нгуен Тьонг Хуен** Сходимость проекционно-разностного метода приближенного решения параболического уравнения с интегральным условием на решение / Нгуен Тьонг Хуен // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Физика. Математика. – 2011. – № 1. – С. 202-208.

14. **Сотников, Д. С.** Сходимость в сильных нормах проекционно-разностного метода для квазилинейного параболического уравнения / Д. С. Сотников // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Физика. Математика. – 2009. – № 2. – С. 126-133.

15. **Сотников, Д. С.** Сходимость проекционно-разностного метода для квазилинейных параболических задач в условиях обобщенной разрешимости / Д. С. Сотников // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Физика. Математика. – 2009. – № 1. – С. 170-176.

Mehanika. Informatika. – 2011. – Т. 11. – № 4. – С. 13–17.

8. **Davyidova, M. B.** O nelineynykh teoreмах sravneniya dlya differentsialnykh uravneniy vtorogo poryadka s proizvodnyimi Radona-Nikodima / M. B. Davyidova, S. A. Shabrov // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Fizika. Matematika. – 2013. – № 1. – С. 155-160.

9. **Shabrov, S. A.** Ob odnoy matematicheskoy modeli malyykh deformatsiy sterzhnevoy sistemy s vnutrennimi osobennostyami / S. A. Shabrov // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Fizika. Matematika. – 2013. – № 1. – С.232-250.

10. **Baev, A. D.** O edinstvennosti resheniya matematicheskoy modeli vyinuzhdennykh kolebaniy strunyi s osobennostyami / A. D. Baev, S. A. Shabrov, Meach Mon // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Fizika. Matematika. – 2014. – № 1. – С.50-55.

11. **Zvereva, M. B.** Ob adaptatsii metoda konechnykh elementov dlya resheniya granichnoy zadachi s differentsialami Stiltesa na geometricheskom grafe / M. B. Zvereva, S. A. Shabrov, E. V. Lyilov // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Fizika. Matematika. – 2014. – № 1. – С.97–105.

12. **Shepilova, E. V.** O reshenii uravneniya tipa Shredingera s postoyannym operatorom proektsionno-raznostnyim metodom so shemoy Kranka-Nikolson po vremeni / E. V. Shepilova // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Fizika. Matematika. – 2011. – № 2. – С.141-146.

13. **Nguen Tyiong Huen** Shodimost proektsionno-raznostnogo metoda priblizhennogo resheniya parabolicheskogo uravneniya s integralnyim usloviem na reshenie / Nguen Tyiong Huen // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Fizika. Matematika. – 2011. – № 1. – С. 202-208.

14. **Sotnikov, D. S.** Shodimost v silnykh normah proektsionno-raznostnogo metoda dlya kvazilineynogo parabolicheskogo uravneniya / D.S. Sotnikov // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Fizika. Matematika. – 2009. – № 2. – С. 126-133.

15. **Sotnikov, D. S.** Shodimost proektsionno-raznostnogo metoda dlya kvazileneynykh parabolicheskikh zadach v usloviyah obobschennoy razreshimosti / D.S. Sotnikov // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Fizika. Matematika. – 2009. – № 1. – С. 170-176.

ABOUT THE CORRECTNESS OF MATHEMATICAL MODELS OF SMALL TRANSVERSE VIBRATIONS STYLESOURCE STRINGS WITH ARBITRARY MASS DISTRIBUTION

Meach Mon

graduate student,
Voronezh State University,
Russia, Voronezh,
e-mail: meach_mon@yahoo.com

Existence of a classical solution of a mathematical model describing the process in some environments with features that lead to the loss of smoothness of the solution, it is very important for applications. In this paper we use the pointwise approach proposed Yu.V. Porornii in 1999, to the interpretation of solutions. This approach has been shown to be effective not only in the study of linear one-dimensional boundary value problems, but also non-linear. In the first section of the paper, we obtain sufficient conditions for the existence of a mathematical model of the studied solutions. The second section is devoted to the proof of the continuous dependence on the initial conditions.

Keywords: *Mathematical model, Stieltjes String, natural oscillations, forced oscillations, correctness model.*



15 – 21 сентября 2014 года состоится VII Международная научная конференция «Современные методы прикладной математики, теории управления и компьютерных технологий», организованная Московским государственным университетом им. М.В. Ломоносова, Санкт-Петербургским государственным университетом, Воронежским государственным университетом, Воронежским государственным техническим университетом, Пермским национальным исследовательским политехническим университетом, Пермским государственным национальным исследовательским университетом, Воронежским институтом ГПС МЧС России, Тамбовским государственным техническим университетом. Во время ее работы планируется проведение

V Международной научно-практической конференции «Пожарная безопасность: проблемы и перспективы».

На конференции предполагается работа по следующим направлениям:

- Математическое моделирование, управление чрезвычайными ситуациями и оценка риска.
- Технологии обеспечения оперативно-служебной деятельности Государственной противопожарной службы. Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности.
- Технологии тушения пожаров и спасения людей.
- Социально-гуманитарные науки: теоретические подходы, эмпирические исследования, практические решения.
- Технологии контроля и прогнозирования свойств веществ, материалов и изделий.
- Информационно-психологическая безопасность, медицинское обеспечение ликвидации последствий ЧС.
- Технологии гражданской защиты. Системы пожарного мониторинга.
- Теоретико-методологические основы анализа и управления кадрового, правового и психологического обеспечения в системе МЧС России.

По результатам конференции планируется издание сборника материалов и электронная публикация докладов участников на сайте института: <http://www.vigps.ru>, <http://vigps.pf>.

Регистрационный взнос не предусмотрен.

По всем вопросам обращаться в оргкомитет конференции по адресам:

Электронный: vigps_onirio@mail.ru

Почтовый: 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231.

Телефоны: (473) 277-86-53, (473) 236-33-05 – дежурная часть;

(473)242-12-63 – организационно-научный и редакционно-издательский отдел (Шимон Николай Степанович – начальник отдела; Никитская Людмила Михайловна – научный сотрудник).

ЛОГИКО-АРИФМЕТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ВЫБОРА УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЕ

А. В. Меньших, С. Н. Тростянский

В статье разрабатываются методы выбора управленческих решений в условиях не Достоверности и неполноты информации на основе использования методов интервальной математики.

Ключевые слова: логико-арифметические методы, выбор управленческих решений, интервальные оценки, лингвистические оценки.

Введение. Эффективность работы Государственной противопожарной службы во многом определяется правильностью и своевременностью принятия управленческих решений, минимизирующих риски пожарной опасности. Выработка управленческих решений производится в процессе осуществления аналитической работы сотрудниками Государственной противопожарной службы.

Одним из видов управленческих решений являются решения на осуществление мер пожарной безопасности, позволяющих снизить риски. Применение каждой меры требует определённых материальных затрат, отказ от применения меры или её несвоевременное применение может привести к значительным материальным потерям. Поэтому актуальной является задача выбора решений на применение конкретных мер [1-4].

Основой для принятия управленческих решений являются значения показателей работы Государственной противопожарной службы и мониторинга пожароопасной ситуации. Аналитическая работа сводится: во-первых, к процедурам проверки принадлежности одного или нескольких показателей некоторому допустимому (или, наоборот, недопустимому в зависимости от содержания задачи) множеству их значений; во-вторых, к логическому анализу результатов проверки значений показателей, который при наличии достоверной информации может быть осуществлён с использованием аппарата логики высказываний [5, 6].

Меньших Анастасия Валерьевна, преп. кафедры прикладной математики и инженерной графики, Воронежский институт ГПС МЧС России; Россия, г. Воронеж, тел.: (473)2363-305, e-mail: asy90@yandex.ru

Тростянский Сергей Николаевич, д-р техн. наук, доц., проф. кафедры физики, Воронежский институт ГПС МЧС России; Россия, г. Воронеж, тел.: (473)2363-305, e-mail: trostyansky2012@yandex.ru

Особенностью аналитической работы в Государственной противопожарной службе является то, что принятие решений часто осуществляется в условиях неопределённости, когда часть информации является не Достоверной или отсутствует.

Не Достоверность используемой для принятия решений информации является следствием учёта результатов прогноза показателей, полученных на основе статистической обработки данных пожарной статистики [7-9]. Результаты прогноза могут быть определены только с некоторой (иногда значительной) статистической погрешностью. Отсутствующая часть информации обычно заменяется экспертными оценками, точность которых может быть недостаточно высокой.

Вопрос принятия решений в указанных условиях изучен недостаточно. Работа посвящена разработке математических методов, позволяющих осуществлять принятие решений на осуществление мер пожарной безопасности в случае не Достоверности и неполноты информации.

1. Формализация задачи. Обозначим $P = \{p^1, p^2, \dots, p^k\}$ - множество управленческих решений, представляющих собой решения на осуществление мер пожарной безопасности. Математически такие решения p^i можно описывать логическими переменными, принимающими значения 1 (меру следует осуществлять) или 0 (меру не следует осуществлять).

Каждое решение p^i принимается на основе анализа значений параметров $z_{i_1}, z_{i_2}, \dots, z_{i_s}$ с помощью правила L^i , которое описывает алгоритм принятия решения, содержащийся в регламентирующих документах:

$$p^i = L^i(z_{i_1}, z_{i_2}, \dots, z_{i_s}) \quad (1)$$

Пусть $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_m\}$ - множество всех параметров, учитываемых в ходе выполнения аналитической работы. Значение каждого параметра $z_j, j=1, \dots, m$ определяется на основе анализа при-

надлежности значений комбинаций некоторых показателей $y_{j_1}, y_{j_2}, \dots, y_{j_n}$ множеству допустимых комбинаций Q_j . Это может быть описано с помощью n -арного отношения R_j на множестве $Y_{j_1} \times Y_{j_2} \times \dots \times Y_{j_n}$ (Y_{j_k} – множество возможных значений показателя y_{j_k}), определяемого по правилу:

$$z_j = R_j(y_{j_1}, y_{j_2}, \dots, y_{j_n}) = \begin{cases} 1, & \text{если } (y_{j_1}, y_{j_2}, \dots, y_{j_n}) \in Q_j, \\ 0, & \text{если иначе.} \end{cases} \quad (2)$$

Следовательно, параметры z_j также представляют собой логические переменные, а функции L^i – логические функции. Учитывая, что формула (1) является формализацией содержащихся в руководящих документах алгоритмов выбора мер пожарной безопасности, следует принять, что функция L^i может быть представлена формулой логики высказываний, в которой могут использоваться операции конъюнкции, дизъюнкции, инверсии, импликации и эквиваленции [5]. В этом случае значение решения p^i находится методами математической логики [6].

Вследствие того, что, как это было описано

$$z_j = R_j(\tilde{Y}_{j_1}, \tilde{Y}_{j_2}, \dots, \tilde{Y}_{j_n}) = \frac{\text{mes}(\tilde{Y}_{j_1} \times \tilde{Y}_{j_2} \times \dots \times \tilde{Y}_{j_n} \cap Q_j)}{\text{mes}(\tilde{Y}_{j_1} \times \tilde{Y}_{j_2} \times \dots \times \tilde{Y}_{j_n})} \quad (3)$$

где mes – обозначение меры множества.

Из формулы (3) очевидно следует, что $z_j \in [0, 1]$.

Для нахождения параметров z_j в рассматриваемом случае предлагается использовать ариф-

метические представления логических операций [10]. Пусть оценки параметров a и b заданы числовыми значениями на интервале $[0, 1]$.

Тогда арифметическое представление логических операций приведено в таблице 1.

Выбор решений на основе интервальных оценок показателей. Показатели могут являться результатами прогноза на основе данных пожарной статистики. Тогда с помощью методов, описанных в [7, 8], могут быть найдены интервальные оценки этих показателей в виде доверительных интервалов. Обозначим $\tilde{Y}_{j_k} \subseteq Y_{j_k}$ интервальную оценку значений показателя y_{j_k} (не исключается случай, когда $\tilde{Y}_{j_k} = \{y_{j_k}\}$, т. е. \tilde{Y}_{j_k} является обычной числовой оценкой). Тогда $\tilde{Y}_{j_1} \times \tilde{Y}_{j_2} \times \dots \times \tilde{Y}_{j_n}$ – интервальная оценка всей совокупности значений показателей $y_{j_1}, y_{j_2}, \dots, y_{j_n}$, а $\tilde{Y}_{j_1} \times \tilde{Y}_{j_2} \times \dots \times \tilde{Y}_{j_n} \cap Q_j$ – множество допустимых значений этих показателей. В этом случае параметр z_j оценивается по формуле:

Арифметическое представление логических операций

Таблица 1.

Операция	Логическое выражение	Арифметическое выражение
конъюнкция	$a \& b$	ab
дизъюнкция	$a \vee b$	$a + b - ab$
инверсия	$\neg a$	$1 - a$
импликация	$a \rightarrow b$	$1 - a + ab$
эквиваленция	$a \leftrightarrow b$	$1 - (a + b) + 2ab$

метические представления логических операций [10]. Пусть оценки параметров a и b заданы числовыми значениями на интервале $[0, 1]$.

Тогда арифметическое представление логических операций приведено в таблице 1.

Формула (4) позволяет использовать произвольные значения параметров z_{i_k} и является непрерывным аналогом формулы (1). Действительно, если $z_{i_k} \in [0, 1]$, т. е. z_{i_k} является логической переменной, то результат выполнения формулы (4)

$$p^i = R(\hat{L}^i(z_{i_1}, z_{i_2}, \dots, z_{i_s})), \quad (4)$$

где \hat{L}^i – арифметический аналог логической функции L^i , а R – операция округления до ближайшего целого.

будет совпадать с результатом выполнения формулы (1).

Выбор решений на основе интервальных оценок параметров. Если требуется принятие решения в условиях отсутствия части показателей, то не удаётся найти значения параметров z_j по формулам (2) или (3). В этом случае для оценки параметров могут быть привлечены эксперты, которые могут представить их в виде обычных числовых или интервальных оценок, отражающих степень уверенности эксперта (группы экспертов) в значе-

ниях параметров. После этого вновь может быть использован подход, заключающийся в арифметическом представлении логических операций.

Пусть оценки параметров a и b заданы числовыми промежутками на интервалах $[a_{min}, a_{max}] \subseteq [0, 1]$ и $[b_{min}, b_{max}] \subseteq [0, 1]$ соответственно. Тогда в соответствии с правилами интервальной математики [11] на основе преобразований, приведённых в табл. 1, могут быть найдены интервальные оценки результатов выполнения арифметических операций. Результат представлен в табл. 2.

Таблица 2.

Интервальные оценки выполнения арифметических действий, соответствующих логическим операциям

Логическое выражение	Наименьшее значение интервальной оценки	Наибольшее значение интервальной оценки
$a \& b$	$a_{min} b_{min}$	$a_{max} b_{max}$
$a \vee b$	$a_{min} + b_{min} - a_{max} b_{max}$	$a_{max} + b_{max} - a_{min} b_{min}$
$\neg a$	$1 - a_{max}$	$1 - a_{min}$
$a \rightarrow b$	$1 - a_{max} + a_{min} b_{min}$	$1 - a_{min} + a_{max} b_{max}$
$a \leftrightarrow b$	$1 - a_{max} - b_{max} + 2a_{min} b_{min}$	$1 - a_{min} - b_{min} + 2a_{max} b_{max}$

В этом случае решение p^i находится по формуле:

$$p^i = R(\text{med } \tilde{L}(\bar{z}_{i_1}, \bar{z}_{i_2}, \dots, \bar{z}_{i_s})), \quad (5)$$

где \bar{z}_{i_k} - интервальная оценка параметра z_{i_k} , a med - операция нахождения середины интервального числа.

Формула (5) является интервальным аналогом формулы (4), т. е. в случае, если $z_{i_k} \in [0, 1]$ - обычная числовая оценка, то результат выполнения формулы (5) совпадёт с результатом выполнения формулы (1).

Результаты. Таким образом, получено описание методов выбора управленческих решений при осуществлении аналитической работы в Государственной противопожарной службе, адаптированных к достоверности и полноте исходных параметров:

- если решения принимаются на основе полной и достоверной информации, то возможно получение логических значений параметров и следует использовать формулу (1);

- если решения принимаются на основе статистически обработанных данных, когда значения некоторых показателей представлены в виде интервальных оценок, то следует использовать формулу (4).

Указанные методы, обеспечивая решение задачи, в то же время имеют большую вычислительную сложность. Это приведёт к увеличению времени принятия управленческих решений. Поэтому для обеспечения своевременности осуществления аналитической работы, необходимо разработать эффективные алгоритмы и численные методы, позволяющие автоматизировать использование разработанных методов для принятия решений в Государственной противопожарной службе.

Библиографический список

1. **Брушлинский, Н. Н.** Системный анализ деятельности Государственной противопожарной службы / Н. Н. Брушлинский. – М.: МИПБ МВД РФ, «Юникс», 1998. – 255 с.
2. **Брушлинский, Н. Н.** Об одной математической модели анализа и управления сложными процессами / Н. Н. Брушлинский, С. В. Соколов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация – 2013. – № 3. – С. 45–47.
3. **Коновко, А. В.** Математическое моделирование функционирования гарнизона пожарной охраны

References

1. **Brushlinskiy, N. N.** Sistemnyiy analiz deyatel'nosti Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhbyi / N. N. Brushlinskiy. – M.: MIPB MVD RF, «Yuniks», 1998. – 255 s.
2. **Brushlinskiy, N. N.** Ob odnoy matematicheskoy modeli analiza i upravleniya slozhnyimi protsessami / N. N. Brushlinskiy, S. V. Sokolov // Pozhary i chrezvychaynyie situatsii: predotvraschenie, likvidatsiya – 2013. – № 3. – S. 45–47.
3. **Konovko, A. V.** Matematicheskoe modelirovanie funktsionirovaniya garnizona pozharnoy ohrany pri

при условии возникновения масштабных ЧС природного и военного характера / А.В. Коновко // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2013 – № 4. – С. 37–43.

4. **Акимов, В. А.** Введение в статистику экстремальных значений и ее приложения / В. А. Акимов, А. А. Быков, Е. Ю. Щетинин. – М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2009. – 524 с.

5. **Акимов, О. Е.** Дискретная математика: логика, группы, графы / О.Е. Акимов – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2003. – 376 с.

6. **Горбатов, В. А.** Фундаментальные основы дискретной математики. Информационная математика / В.А. Горбатов. – М.: Наука, 2000. – 544 с.

7. **Меньших, А. В.** Моделирование структуры временных рядов пожарной статистики / А. В. Меньших, С. Н. Тростянский // Вестник Воронежского института МВД России. – 2012. – № 4. – С. 97-103.

8. **Меньших, А. В.** Исследование взаимосвязи показателей пожарной статистики / А. В. Меньших, С. Н. Тростянский // Вестник Воронежского института МВД России. – 2013. – № 1. – С. 48-53.

9. **Меньших, А. В.** Оценка параметров систем одновременных уравнений в моделях пожарной статистики / А. В. Меньших, С. Н. Тростянский // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2013. – № 3(8). – С. 37-40.

10. **Малюгин, В. Д.** Параллельные логические вычисления посредством арифметических полиномов / В.Д. Малюгин. – М.: Наука. Физматлит, 1997. – 192 с.

11. **Алефельд, Г.** Введение в интервальные вычисления / Г. Алефельд, Ю. Херцбергер. – М.: Мир, 1987. – 360 с.

uslovii vozniknoveniya masshtabnykh ChS prirodnogo i voennogo haraktera / A.V. Konovko // Pozhary i chrezvyichaynyie situatsii: predotvraschenie, likvidatsiya. – 2013 – № 4. – S. 37–43.

4. **Akimov, V. A.** Vvedenie v statistiku ekstremalnykh znacheniy i ee prilozheniya / V. A. Akimov, A. A. Byikov, E. Yu. Schetinin. – M.: FGU VNIIGOSHS (FTS), 2009. – 524 s.

5. **Akimov, O. E.** Diskretnaya matematika: logika, gruppyi, grafyi / O.E. Akimov – M.: Laboratoriya Bazovykh Znaniy, 2003. – 376 s.

6. **Gorbatov, V. A.** Fundamentalnyie osno-vyi diskretnoy matematiki. Informatsionnaya matematika / V.A. Gorbatov. – M.: Nauka, 2000. – 544 s.

7. **Menshih, A. V.** Modelirovanie struk-turyi vremennykh ryadov pozhar-noy statistiki / A. V. Menshih, S. N. Trostyanskiy // Vestnik Vo-ronezhskogo instituta MVD Rossii. – 2012. – № 4. – S. 97-103.

8. **Menshih, A. V.** Issledovanie vzaimo-svyazi pokazateley pozhar-noy statistiki / A. V. Menshih, S. N. Trostyanskiy // Vestnik Vo-ronezhskogo instituta MVD Rossii. – 2013. – № 1. – S. 48-53.

9. **Menshih, A. V.** Otsenka parametrov sis-tem odnovremennykh uravneniy v modelyakh pozhar-noy statistiki / A. V. Menshih, S. N. Trostyanskiy // Vestnik Voronezhskogo in-stituta GPS MChS Rossii. – 2013. – № 3(8). – S. 37-40.

10. **Malyugin, V. D.** Parallelnyye logiche-skie vyichisleniya posredstvom arifmeticheskikh polinomov / V.D. Malyugin. – M.: Nauka. Fizmat-lit, 1997. – 192 s.

11. **Alefeld, G.** Vvedenie v intervalnyie vyichisleniya / G. Alefeld, Yu. Hertsberger. – M.: Mir, 1987. – 360 s.

ARITHMETIC AND LOGIC METHODS OF CHOICE ADMINISTRATIVE DECISIONS IN THE STATE FIRE SERVICE

Men'shix A. V.,

Lecturer,

Voronezh Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia;

Russia, Voronezh, tel.: (473)2363-305,

e-mail: asy90@yandex.ru

Trostyanskiy S. N.,

D. Sc. in Engineering, Assoc. Prof.,

Voronezh Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia;

Russia, Voronezh, tel.: (473)2363-305,

e-mail: trostyansky2012@yandex.ru

In this paper, methods for selecting management decisions in an unreliability and incompleteness of the information through the use of methods of interval mathematics.

Key words: *logical and arithmetic methods, the choice of management solutions, interval estimates, linguistic evaluation.*

О СТАЦИОНАРНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ТЕПЛА В ФУНКЦИОНАЛЬНО-ГРАДИЕНТНЫХ МАТЕРИАЛАХ С ВНУТРЕННЕЙ ТРЕЩИНОЙ

А. С. Рябенко

В работе рассматриваются три задачи, описывающие стационарное распределение тепла в плоскости без тепловых источников и с трещиной в случае, когда коэффициент внутренней теплопроводности постоянен, равен экспоненциальной функции и равен произвольной функции, удовлетворяющей некоторым дополнительным условиям. Во всех рассмотренных задачах трещина моделируется отрезком, предполагаются заданными разности температур и тепловых потоков между верхним и нижним берегами трещины. Показано, что все рассмотренные задачи имеют решение. В случае, когда коэффициент внутренней теплопроводности постоянен и равен экспоненциальной функции, выписаны явные формулы решения. Во всех рассмотренных задачах получены асимптотические представления тепловых потоков в окрестности концов трещины. Доказано совпадение главных членов асимптотического разложения тепловых потоков во всех рассмотренных задачах. Также показано, что скорость стремления тепловых потоков к бесконечности зависит от способа приближения к концам трещины.

Ключевые слова: трещина, тепловой поток, сингулярность, стационарное распределение тепла, обобщенное решение, асимптотики, стационарная теплопроводность.

Введение. Одним из направлений в изучении материалов с трещинами является изучение тепловых процессов в этих материалах (см. [1-7]). Диапазон таких задач очень широк и во многом определяется свойствами и конфигурацией материалов, количеством трещин и их способом расположения, а также математическим объектом, моделирующим трещины.

В работе рассматриваются три задачи, моделирующие стационарное распределение тепла в плоскости с трещиной l при различных способах задания коэффициента внутренней теплопроводности. Во всех рассмотренных задачах трещина l моделируется отрезком $[-1;1] \times \{0\}$, предполагаются заданными разности температур и тепловых потоков между верхним и нижним берегами трещины l .

Уравнения рассмотренных в статье задач получены из уравнения стационарной теплопроводности для материала без тепловых источников:

$$\operatorname{div}(G(x) \operatorname{grad} u(x)) = 0,$$

где $x = (x_1, x_2)$, а $G(x)$ – коэффициент внутренней теплопроводности.

Задача (1)-(3) получена в предположении, что $G(x) = k \equiv \text{const}$; задача (8)-(10) получена в предположении, что $G(x) = G(x_2) = G_0 e^{kx_2}$, где $G_0 \equiv \text{const} \neq 0$, $k \equiv \text{const} \neq 0$; задача (18)-(20) получена в предположении, что $G(x) = G(x_2) = e^{k(x_2)}$, где функция $k(x_2)$ удовлетворяет условиям, сформулированным ниже. Отметим, что задача (8)-(10) является частным случаем задачи (18)-(20).

Изучение задачи (1)-(3) и задачи (8)-(10) проводилось по следующей схеме: сведение исходной задачи к обобщенной задаче, построение решения получившейся обобщенной задачи; выделение в представлении производных первого порядка решения обобщенной задачи компонентов, которые быстрее всего стремятся к бесконечности при приближении к концам трещины (получение асимптотического представления для тепловых потоков); доказательство того, что построенное решение обобщенной задачи является решением рассматриваемой задачи.

Задача (18)-(20) исследовалась при помощи сведения к задаче (8)-(10).

Стационарное распределение тепла в плоскости с трещиной при постоянном коэффициенте внутренней теплопроводности. Рассмотрим задачу

$$\Delta v(x_1, x_2) = 0, \quad x = (x_1, x_2) \in \mathbb{R}^2 / l, \quad (1)$$

$$v(x_1, +0) - v(x_1, -0) = q_0(x_1), \quad x_1 \in (-1; 1), \quad (2)$$

$$\frac{\partial v(x_1, +0)}{\partial x_2} - \frac{\partial v(x_1, -0)}{\partial x_2} = q_1(x_1), \quad x_1 \in (-1; 1). \quad (3)$$

Рябенко А.С., канд. физ.-мат. наук,
доцент кафедры уравнений в частных
производных и теории вероятностей,
Воронежский государственный университет
Россия, г. Воронеж.
E-mail: alexr-83@yandex.ru

Определение. Решением задачи (1)-(3) назовем функцию $v(x_1, x_2)$, принадлежащую $\tilde{N}^2(\mathbb{R}^2/l)$ и удовлетворяющую уравнению (1) в области \mathbb{R}^2/l , для которой в смысле главного значения при x_1 , принадлежащем $(-1;1)$, выполнены граничные условия (2), (3), и такую, что функции $v(x_1, x_2)$, $x_2 \frac{\partial v(x_1, x_2)}{\partial x_2}$ и $\frac{\partial v(x_1, x_2)}{\partial x_2} - \frac{\partial v(x_1, -x_2)}{\partial x_2}$ ограничены в окрестности трещины l .

Аналогичным образом определяется решение остальных задач, рассматриваемых в статье.

Определение. Пусть $q(x_1)$ принадлежит пространству $\tilde{N}([-1;1])$. Через $q(x_1)\delta_{[-1;1]}(x_1, x_2)$ будем обозначать обобщенную функцию из $D'(\mathbb{R}^2)$, действующую по следующему правилу: для любой функции $\varphi(x_1, x_2)$, принадлежащей пространству $D(\mathbb{R}^2)$,

$$(q(x_1)\delta_{[-1;1]}(x_1, x_2), \varphi(x_1, x_2)) = \int_{-1}^1 q(\sigma_1)\varphi(\sigma_1, 0)d\sigma_1.$$

Замечание 1. В дальнейшем будем предполагать, что функции $q_0(x_1)$ и $q_1(x_1)$ принадлежат пространству $\tilde{N}^3([-1;1])$.

Из определения решения задачи (1)-(3) следует, что функция $v(x_1, x_2)$ принадлежит пространству $D'(\mathbb{R}^2)$. Вычислив стандартным образом обобщенные производные от функции $v(x_1, x_2)$ (см. [8]), можно доказать следующую теорему.

Теорема 1. Решение задачи (1)-(3) является решением следующей обобщенной задачи:

$$\Delta v(x_1, x_2) = q_1(x_1)\delta_{[-1;1]}(x_1, x_2) + \frac{\partial}{\partial x_2}(q_0(x_1)\delta_{[-1;1]}(x_1, x_2)). \quad (4)$$

Замечание 2. Фундаментальным решением оператора Δ в \mathbb{R}^2 является функция $E(x_1, x_2) = \frac{1}{2\pi} \ln|x|$ (см. [9]).

Замечание 3. Обобщенная функция $q(x_1)\delta_{[-1;1]}(x_1, x_2)$ финитна (см. [8]), и для нее $\text{supp } q(x_1)\delta_{[-1;1]}(x_1, x_2) \subset l$.

Воспользовавшись замечанием 2, замечанием 3 и теоремой о свертке с финитным функционалом (см. [8]), можно доказать следующую теорему.

Теорема 2. Пусть $q_0(x_1), q_1(x_1) \in \tilde{N}([-1;1])$, тогда решение задачи (4) представимо в виде

$$v(x_1, x_2) = \frac{x_2}{2\pi} \int_{-1}^1 \frac{q_0(\sigma_1)}{(x_1 - \sigma_1)^2 + x_2^2} d\sigma_1 + \frac{1}{4\pi} \int_{-1}^1 q_1(\sigma_1) \ln[(x_1 - \sigma_1)^2 + x_2^2] d\sigma_1. \quad (5)$$

Используя (5) и интегрирование по частям, можно доказать следующую теорему.

Теорема 3. Для частных производных первого порядка функции $v(x_1, x_2)$, полученной в теореме 2, при (x_1, x_2) , принадлежащем \mathbb{R}^2/l , справедливы следующие представления:

$$\begin{aligned} \frac{\partial v(x_1, x_2)}{\partial x_1} &= -\frac{q_0(1)}{2\pi} \frac{x_2}{(1-x_1)^2 + x_2^2} + \\ &+ \frac{q_0(-1)}{2\pi} \frac{x_2}{(1+x_1)^2 + x_2^2} - \\ &- \frac{q_1(1)}{4\pi} \ln[(1-x_1)^2 + x_2^2] + \\ &+ \frac{q_1(-1)}{4\pi} \ln[(1+x_1)^2 + x_2^2] + R_1(x_1, x_2), \\ \frac{\partial v(x_1, x_2)}{\partial x_2} &= -\frac{q_0(1)}{2\pi} \frac{1-x_1}{(1-x_1)^2 + x_2^2} - \\ &- \frac{q_0(-1)}{2\pi} \frac{1+x_1}{(1+x_1)^2 + x_2^2} + \\ &+ \frac{q'_0(1)}{4\pi} \ln[(1-x_1)^2 + x_2^2] - \frac{q'_0(-1)}{4\pi} \ln[(1+x_1)^2 + \\ &+ x_2^2] + R_2(x_1, x_2), \end{aligned} \quad (6)$$

где $R_1(x_1, x_2), R_2(x_1, x_2)$ – ограниченные на любом компакте функции.

Используя теорему 2 и теорему 3, можно доказать следующую теорему.

Теорема 4. Функция $v(x_1, x_2)$, построенная в теореме 2, принадлежит пространству $\tilde{N}^\infty(\mathbb{R}^2/l)$ и является решением задачи (1)-(3).

Более подробное исследование задачи (1)-(3) содержится в [10].

Стационарное распределение тепла в плоскости с трещиной при экспоненциальном коэффициенте внутренней теплопроводности. Рассмотрим задачу.

$$\begin{aligned} \Delta \tilde{u}(x_1, x_2) + k \frac{\partial \tilde{u}(x_1, x_2)}{\partial x_2} &= 0, \\ x = (x_1; x_2) \in \mathbb{R}^2/l, \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \tilde{u}(x_1, +0) - \tilde{u}(x_1, -0) &= q_0(x_1), \\ x_1 \in (-1;1), \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \tilde{u}(x_1, +0)}{\partial x_2} + \frac{k}{2} \tilde{u}(x_1, +0) - \\ & - \frac{\partial \tilde{u}(x_1, -0)}{\partial x_2} - \frac{k}{2} \tilde{u}(x_1, -0) = \\ & = q_1(x_1), \quad x_1 \in (-1; 1). \end{aligned} \quad (10)$$

При помощи замены $\tilde{u}(x_1, x_2) = e^{-\frac{kx_2}{2}} \tilde{V}(x_1, x_2)$ задача (8)-(10) сводится к задаче

$$\Delta \tilde{V}(x_1, x_2) - \frac{k^2}{4} \tilde{V}(x_1, x_2) = 0, \quad x \in \mathbb{R}^2 \setminus l, \quad (11)$$

$$\tilde{V}(x_1, +0) - \tilde{V}(x_1, -0) = q_0(x_1), \quad x_1 \in (-1; 1), \quad (12)$$

$$\frac{\partial \tilde{V}(x_1, +0)}{\partial x_2} - \frac{\partial \tilde{V}(x_1, -0)}{\partial x_2} = q_1(x_1), \quad x_1 \in (-1; 1). \quad (13)$$

По аналогии с теоремой 1 доказывается следующая теорема.

Теорема 5. Решение задачи (11)-(13) является решением следующей обобщенной задачи:

$$\begin{aligned} & \Delta \tilde{V}(x_1, x_2) - \frac{k^2}{4} \tilde{V}(x_1, x_2) = \\ & = q_1(x_1) \delta_{[-1;1]}(x_1, x_2) + \\ & + \frac{\partial}{\partial x_2} \left(q_0(x_1) \delta_{[-1;1]}(x_1, x_2) \right) \end{aligned} \quad (14)$$

В дальнейшем через $K_n(z)$ будем обозначать функции Макдональда (см. [11, 12]).

Замечание 4. Фундаментальным решением оператора $\Delta - \frac{k^2}{4}$ в \mathbb{R}^2 является функция

$$E(x_1, x_2) = -\frac{1}{2\pi} K_0\left(\frac{|k|}{2}|x|\right) \quad (\text{см. [9]}).$$

Действуя так же, как в теореме 2, можно доказать следующую теорему.

Теорема 6. Пусть $q_0(x_1), q_1(x_1) \in \tilde{N}([-1;1])$,

тогда решение задачи (14) представимо в виде

$$\begin{aligned} & \tilde{V}(x_1, x_2) = \\ & = \frac{|k|x_2}{4\pi} \int_{-1}^1 K_1\left(\frac{|k|}{2}\sqrt{(x_1-\sigma_1)^2+x_2^2}\right) \frac{q_0(\sigma_1)}{\sqrt{x_2^2+(x_1-\sigma_1)^2}} d\sigma_1 - \\ & - \frac{1}{2\pi} \int_{-1}^1 K_0\left(\frac{|k|}{2}\sqrt{(x_1-\sigma_1)^2+x_2^2}\right) q_1(\sigma_1) d\sigma_1. \end{aligned} \quad (15)$$

Действуя так же, как в теореме 3, из (15) и асимптотических оценок для функций Макдональда (см. [11, 12]),

$$K_0(z) = \ln \frac{1}{z} + O(1), \quad K_n(z) = \frac{1}{2} \frac{(n-1)!}{(z/2)^n} + O(z^{2-n}),$$

где $0 < z < 1, n \in \mathbb{N}$, получаем следующую теорему.

Теорема 7. Для частных производных первого порядка функции $\tilde{V}(x_1, x_2)$, полученной в теореме 6, при (x_1, x_2) , принадлежащем \mathbb{R}^2/l , справедливы следующие представления:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \tilde{V}(x_1, x_2)}{\partial x_1} = -\frac{q_0(1)}{2\pi} \frac{x_2}{(1-x_1)^2+x_2^2} + \\ & + \frac{q_0(-1)}{2\pi} \frac{x_2}{(1+x_1)^2+x_2^2} - \\ & - \frac{q_1(1)}{4\pi} \ln[(1-x_1)^2+x_2^2] + \\ & + \frac{q_1(-1)}{4\pi} \ln[(1+x_1)^2+x_2^2] + R_1(x_1, x_2), \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \tilde{V}(x_1, x_2)}{\partial x_2} = -\frac{q_0(1)}{2\pi} \frac{1-x_1}{(1-x_1)^2+x_2^2} - \\ & - \frac{q_0(-1)}{2\pi} \frac{1+x_1}{(1+x_1)^2+x_2^2} + \\ & + \frac{q'_0(1)}{4\pi} \ln[(1-x_1)^2+x_2^2] - \\ & - \frac{q'_0(-1)}{4\pi} \ln[(1+x_1)^2+x_2^2] + R_2(x_1, x_2), \end{aligned} \quad (17)$$

где $R_1(x_1, x_2), R_2(x_1, x_2)$ – ограниченные на любом компакте функции.

Используя теорему 6 и теорему 7, можно доказать следующую теорему.

Теорема 8. Функция $\tilde{V}(x_1, x_2)$, построенная в теореме 6, принадлежит пространству $\tilde{N}^\infty(\mathbb{R}^2/l)$ и является решением задачи (11)-(13).

Первые результаты исследования задачи (8)-(10) содержатся в [13].

Стационарное распределение тепла в плоскости с трещиной при переменном коэффициенте внутренней теплопроводности.

Рассмотрим задачу

$$\Delta U(x_1, x_2) + k'(x_2) \frac{\partial U(x_1, x_2)}{\partial x_2} = 0, \quad (18)$$

$$x = (x_1; x_2) \in \mathbb{R}^2/l,$$

$$\begin{aligned} & U(x_1, +0) - U(x_1, -0) = \\ & = e^{-\frac{k(0)}{2}} q_0(x_1), \quad x_1 \in (-1; 1), \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial U(x_1, +0)}{\partial x_2} + \frac{k'(0)}{2} U(x_1, +0) - \\ & - \frac{\partial U(x_1, -0)}{\partial x_2} - \frac{k'(0)}{2} U(x_1, -0) = \end{aligned} \quad (20)$$

$$= e^{-\frac{k(0)}{2}} q_1(x_1), \quad x_1 \in (-1; 1).$$

Замечание 5. В дальнейшем будем предполагать, что функция $k(x_2)$ принадлежит пространству $\tilde{N}^4(\mathbb{R})$; существуют константы ε_1 и ε_2 такие, что при x_2 , принадлежащем \mathbb{R} , выполнены оценки $\varepsilon_2 > \tilde{k}^2(x_2) > \varepsilon_1 > 0$, где

$$\tilde{k}^2(x_2) = (k'(x_2))^2 + 2k''(x_2).$$

При помощи замены $U(x_1, x_2) = e^{-\frac{k(x_2)}{2}} V(x_1, x_2)$ задача (18)-(20) сводится к задаче

$$\Delta V(x_1, x_2) - \frac{\tilde{k}^2(x_2)}{4} V(x_1, x_2) = 0, \quad x \in \mathbb{R}^2 \setminus l, \quad (21)$$

$$V(x_1, +0) - V(x_1, -0) = q_0(x_1), \quad x_1 \in (-1; 1), \quad (22)$$

$$\frac{\partial V(x_1, +0)}{\partial x_2} - \frac{\partial V(x_1, -0)}{\partial x_2} = q_1(x_1), \quad x_1 \in (-1; 1). \quad (23)$$

Решение задачи (21)-(23) будем искать в виде

$$V(x_1, x_2) = u(x_1, x_2) + W(x_1, x_2) \quad (24)$$

где функция $u(x_1, x_2)$ является решением задачи

$$\Delta u(x_1, x_2) - \frac{\tilde{k}^2(0)}{4} u(x_1, x_2) = 0, \quad x \in \mathbb{R}^2 \setminus l, \quad (25)$$

$$u(x_1, +0) - u(x_1, -0) = q_0(x_1), \quad x_1 \in (-1; 1), \quad (26)$$

$$\frac{\partial u(x_1, +0)}{\partial x_2} - \frac{\partial u(x_1, -0)}{\partial x_2} = q_1(x_1), \quad x_1 \in (-1; 1), \quad (27)$$

а функция $W(x_1, x_2)$ является решением задачи

$$\begin{aligned} \Delta W(x_1, x_2) - \frac{\tilde{k}^2(x_2)}{4} W(x_1, x_2) = \\ = 0, 25(\tilde{k}^2(x_2) - \tilde{k}^2(0))u(x_1, x_2), \quad x \in \mathbb{R}^2 \setminus l, \end{aligned} \quad (28)$$

$$W(x_1, +0) - W(x_1, -0) = 0, \quad x_1 \in (-1; 1), \quad (29)$$

$$\frac{\partial W(x_1, +0)}{\partial x_2} - \frac{\partial W(x_1, -0)}{\partial x_2} = 0, \quad x_1 \in (-1; 1). \quad (30)$$

Отметим, что задача (25)-(27) совпадает с задачей (11)-(13) при $k = \tilde{k}(0)$.

При помощи результатов, полученных при исследовании задачи (11)-(13), можно доказать следующую теорему (см. [14]).

Теорема 9. Пусть $k(x_2) \in \tilde{N}^{k+2}(\mathbb{R})$, где $k = 2, \dots$, тогда у уравнения (28) существует решение, один раз непрерывно дифференцируемое в окрестности l и k раз непрерывно дифференцируемое вне l .

Из теоремы 9 и результатов, полученных при исследовании задачи (11)-(13), получаем следующую теорему.

Теорема 10. Пусть $k(x_2) \in \tilde{N}^{k+2}(\mathbb{R})$, где $k = 2, \dots$, тогда у задачи (18)-(20) существует решение $U(x_1, x_2)$ и $U(x_1, x_2) \in C^k(\mathbb{R}^2 \setminus l)$. При этом функции

$U(x_1, x_2)$, $\frac{\partial U(x_1, x_2)}{\partial x_1}$, $\frac{\partial U(x_1, x_2)}{\partial x_2}$ в окрестности l имеют такое же асимптотическое представление, как и функции $e^{-\frac{k(x_2)}{2}} u(x_1, x_2)$, $e^{-\frac{k(x_2)}{2}} \frac{\partial u(x_1, x_2)}{\partial x_1}$, $e^{-\frac{k(x_2)}{2}} \frac{\partial u(x_1, x_2)}{\partial x_2}$ соответственно, где $u(x_1, x_2)$ решение задачи (25)-(27).

Анализ результатов. Из теоремы 3, теоремы 7 и теоремы 10 следует совпадение, с точностью до постоянного множителя, главных членов асимптотического разложения тепловых потоков в каждой из рассмотренных задач.

Также из этих теорем следует, что скорость стремления тепловых потоков к бесконечности зависит от способа приближения к концам трещины.

Покажем это на примере поведения функции $\frac{\partial v(x_1, x_2)}{\partial x_1}$ в окрестности левого конца трещины l , точки с координатами $(-1; 0)$. Из теоремы 3 следует, что в этом случае скорость стремления к бесконечности определяется величинами $A = \frac{x_2}{(1+x_1)^2 + x_2^2}$ и

$$B = \ln[(1+x_1)^2 + x_2^2].$$

Рассмотрим поведение величин A и B , когда приближение к точке $(-1; 0)$ осуществляется по кривой

$$\begin{cases} x_1 = -1+t^\alpha, \\ x_2 = t, \quad t \in (0, \delta], \quad \alpha > 0, \delta < 1. \end{cases} \quad (31)$$

Из (31) получаем, что если $\alpha \leq \frac{1}{2}$, то величина $A = \frac{t}{t^{2\alpha} + t^2}$ ограничена при $t \rightarrow 0$. Следовательно, функция $\frac{\partial v(x_1, x_2)}{\partial x_1}$ стремится к бесконечности, как $\ln[t^{2\alpha} + t^2]$ при $t \rightarrow 0$.

Из (31) получаем, что если $\frac{1}{2} < \alpha \leq 1$, то $A = \frac{t}{t^{2\alpha} + t^2} = \frac{1}{t^{2\alpha-1}} \cdot \frac{1}{1+t^{2-2\alpha}} \sim ct^{1-2\alpha}$ при $t \rightarrow 0$, где $c=1$ при $\frac{1}{2} < \alpha < 1$ и $c = \frac{1}{2}$ при $\alpha = 1$. Следовательно, функция $\frac{\partial v(x_1, x_2)}{\partial x_1}$ стремится к бесконечности, как $ct^{1-2\alpha}$ при $t \rightarrow 0$.

Из (31) получаем, что если $1 < \alpha$, то $A = \frac{t}{t^{2\alpha} + t^2} = \frac{1}{t} \cdot \frac{1}{1+t^{2\alpha-2}} \sim t^{-1}$ при $t \rightarrow 0$. Следова-

тельно, функция $\frac{\partial v(x_1, x_2)}{\partial x_1}$ стремится к бесконечности, как t^{-1} при $t \rightarrow 0$.

Ниже на рисунке показано поведение главных членов асимптотического разложения функции $\frac{\partial v(x_1, x_2)}{\partial x_1}$ в окрестности точки $(-1; 0)$ при условии, что $q_0(-1) = q_1(-1) = 1$.

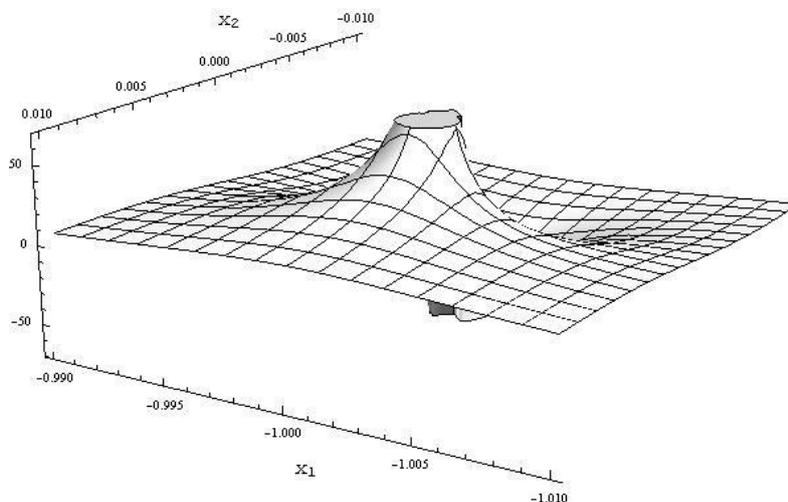


Рис. Поведение главных членов асимптотического разложения функции

Библиографический список

References

1. Lee, K. Y. Thermal stress intensity factors for partially insulated interface crack under uniform heat flow / K. Y. Lee, S. -J. Park // Eng. Fract. – 1995. – Mech. 50. – N 4. – P. 475–482.
2. Ордян, М. Г. Задача теплопроводности для биматериала с системой частично теплопроницаемых трещин и тепловым источником / М. Г. Ордян, В. Е. Петрова // Вестник Самарского государственного университета (Естественнонаучная серия). – 2009. – №4(70). – С. 154–170.
3. Petrova, V. Thermal fracture of a functionally graded/homogeneous bimaterial with a system of cracks / V. Petrova, S. Schmauder // Theoretical and Applied Fracture Mechanics. – 2011. – V. 55. – P. 148–157.
4. Glushko, A. V. Modeling of heat transfer in a non-homogeneous material with a crack. The study of singularity at the vicinity of the crack tips / A. V. Glushko, A. S. Ryabenko // 19th European Conference on Fracture “Fracture Mechanics for Durability, Reliability and Safety”: Book of Abstracts, 26-31 August. – Kazan, 2012. – P. 269.
5. Glushko, A. V. Modeling of heat transfer in a non-homogeneous material with a crack. The study of singularity at the vicinity of the crack tips / A. V. Glushko, A. S. Ryabenko // 19th European Conference on Fracture “Fracture Mechanics for Durability, Reliability and Safety”: сб. ст. [Электронный ресурс]. – Kazan: Foliant, 2012. – 1 электрон. опт. диск. (CD-Rom).
6. Логинова, Е. А. Построение решения задачи о распределении тепла в неоднородном материале с трещиной / Е. А. Логинова // Вест-

1. Lee, K. Y. Thermal stress intensity factors for partially insulated interface crack under uniform heat flow / K. Y. Lee, S. -J. Park // Eng. Fract. – 1995. – Mech. 50, N 4. – P. 475–482.
2. Ordyan, M. G. Zadacha teploprovodnosti dlya bimateriala s sistemoy chastichno teplopronitsaemyih treschin i teplovyim istochnikom / M. G. Ordyan, V. E. Petrova // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta (Estestvennonauchnaya seriya). – 2009. – №4(70). – S. 154–170.
3. Petrova, V. Thermal fracture of a functionally graded/homogeneous bimaterial with a system of cracks / V. Petrova, S. Schmauder // Theoretical and Applied Fracture Mechanics. – 2011. – V. 55. – P. 148–157.
4. Glushko, A. V. Modeling of heat transfer in a non-homogeneous material with a crack. The study of singularity at the vicinity of the crack tips / A. V. Glushko, A. S. Ryabenko // 19th European Conference on Fracture “Fracture Mechanics for Durability, Reliability and Safety”: Book of Abstracts, 26-31 August. – Kazan, 2012. – P. 269.
5. Glushko, A. V. Modeling of heat transfer in a non-homogeneous material with a crack. The study of singularity at the vicinity of the crack tips / A. V. Glushko, A. S. Ryabenko // 19th European Conference on Fracture “Fracture Mechanics for Durability, Reliability and Safety”: sb. st. [Elektronnyiy resurs]. – Kazan: Foliant, 2012. – 1 elektron. opt. disk. (CD-Rom).
6. Loginova, E. A. Postroenie resheniya zadachi o raspredelenii tepla v neodnorodnom materiale s treschinoy / E. A. Loginova // Vestnik SPbGU Ser. 1.

ник СПбГУ Сер. 1. Математика. Механика. Астрономия. – 2012. – Вып. 1. – С. 40–47.

7. **Chiu Tz-Cheng**. Heat conduction in a functionally graded medium with an arbitrarily oriented crack / Tz-Cheng Chiu, Shang-Wu Tsai, Ching-Hwei Chue // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2013. – V. 67. – P. 514–522.

8. **Владимиров, В. С.** Уравнения математической физики / В. С. Владимиров. – М.: Наука, 1976. – 527 с.

9. **Владимиров, В. С.** Сборник задач по уравнениям математической физики / В. С. Владимиров, В. П. Михайлов, А. А. Вашарин [и др.]. – М.: Наука, 1982. – 256 с.

10. **Рябенко, А. С.** Асимптотические свойства решения задачи о стационарном распределении тепла в однородной плоскости с трещиной / А. С. Рябенко // Вестник ВГУ. Сер. Физика. Математика. – 2012. – № 1. – С. 187–194.

11. **Ватсон, Г. Н.** Теория бесселевых функций / Г. Н. Ватсон. – М.: Издательство иностранной литературы, 1949. – 799 с.

12. **Никольский, С. М.** Приближение функций многих переменных и теоремы вложения / С. М. Никольский. – М.: Гл. ред. физ.-мат. лит. изд-ва «Наука», 1977. – 456 с.

13. **Глушко, А. В.** Асимптотические свойства решения задачи о стационарном распределении тепла в неоднородной плоскости с трещиной / А. В. Глушко, Е. А. Логинова // Вестник ВГУ. Сер. Физика. Математика. – 2010. – № 2. – С. 47–50.

14. **Михайлов, В. П.** Дифференциальные уравнения в частных производных / В. П. Михайлов. – М.: Наука, 1976. – 391 с.

Matematika. Mehanika. Astronomiya. – 2012. – Vyip. 1. – S. 40–47.

7. **Chiu Tz-Cheng**. Heat conduction in a functionally graded medium with an arbitrarily oriented crack / Tz-Cheng Chiu, Shang-Wu Tsai, Ching-Hwei Chue // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2013. – V. 67. – P. 514–522.

8. **Vladimirov, V. S.** Uravneniya matematicheskoy fiziki / V. S. Vladimirov. – M.: Nauka, 1976. – 527 s.

9. **Vladimirov, V. S.** Sbornik zadach po uravneniyam matematicheskoy fiziki / V. S. Vladimirov, V. P. Mihaylov, A. A. Vasharin [i dr.]. – M.: Nauka, 1982. – 256 s.

10. **Ryabenko, A. S.** Asimptoticheskie svoystva resheniya zadachi o statsionarnom raspredelenii tepla v odnorodnoy ploskosti s treschinoy / A. S. Ryabenko // Vestnik VGU. Ser. Fizika. Matematika. – 2012. – № 1. – S. 187–194.

11. **Vatson, G. N.** Teoriya besselevyih funktsiy / G. N. Vatson. – M.: Izdatelstvo inostrannoy literaturyi, 1949. – 799 s.

12. **Nikolskiy, S. M.** Priblizhenie funktsiy mnogih peremennyih i teoremy vlozheniya / S. M. Nikolskiy. – M.: Gl. red. fiz.-mat. lit. izd-va «Nauka», 1977. – 456 s.

13. **Glushko, A. V.** Asimptoticheskie svoystva resheniya zadachi o statsionarnom raspredelenii tepla v neodnorodnoy ploskosti s treschinoy / A. V. Glushko, E. A. Loginova // Vestnik VGU. Ser. Fizika. Matematika. – 2010. – № 2. – S. 47–50.

14. **Mihaylov, V. P.** Differentsialnyie uravneniya v chastnyih proizvodnyih / V. P. Mihaylov. – M.: Nauka, 1976. – 391 s.

ON THE STATIONARY HEAT DISTRIBUTION IN FUNCTIONALLY GRADIENT MATERIALS WITH AN INSIDE CRACK

Ryabenko A. S.

Candidate of Physical and Mathematical sciences, associate professor
Voronezh State University, Russia, Voronezh
Tel. (473) 220-86-18, E-mail: alexr-83@yandex.ru

Three problems are dealt with associated with stationary heat distribution in a plane with no heat sources and a crack when the coefficient of internal thermal conductivity is stable and equal to an exponential function and arbitrary function which satisfies some supplementary conditions. In all the problems that have so far been looked into, a crack is modelled with a segment and the difference of the temperature and heat fluxes between the upper and lower edges of the crack is supposed to be specified. All the problems were shown to have a solution. Clear-cut solutions were developed for when the coefficient of internal thermal conductivity is stable. In all the problems examined asymptomatic presentations for heat fluxes were obtained in the vicinity of the edges of the crack. The major members of asymptomatic division of the heat fluxes were proved to be identical for all the problems. The rate of heat fluxes tending to infinity is shown to depend on how the edges of the crack are approached.

Keywords: a crack, heat flow, singularity, steady heat distribution, general solution, asymptotics, stationary heat conductivity.

МОДЕЛЬ МАШИННОГО КОДА, СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ДЛЯ ПОИСКА УЯЗВИМОСТЕЙ

М. В. Буйневич, К.Е. Израйлов, О.В. Щербаков

Описаны предпосылки использования модели машинного кода в методе алгоритмизации. Заданы ее основные элементы и требования. Произведено сравнение с «классической» моделью. Рассмотрен процесс моделирования.

Ключевые слова: безопасность, программное обеспечение, уязвимость, моделирование, машинный код, алгоритмизация.

Введение. Актуальность проблемы безопасности программного обеспечения (далее – ПО) [1] заключается в наличии уязвимостей (как случайных, так и умысленных) в коде ПО при отсутствии эффективных средств их выявления. Ситуация в разы усложняется, когда исходный код отсутствует, а для анализа в наличии только машинный код (далее – МК), что наблюдается сплошь и рядом, например, в проприетарном ПО устройств телекоммуникационных сетей (в том числе в ключевых системах информационной инфраструктуры). С одним из немногих методов решения задачи поиска уязвимостей в МК можно ознакомиться в авторской статье [2].

Суть метода (далее – метод) заключается в восстановлении алгоритмов машинного кода и представлении их в виде, подходящем для ручного анализа с целью поиска уязвимостей. При этом основная часть метода может быть реализована с помощью программного средства. Такое совокупное использование как ручного, так и автоматизированного способов позволяет добиться высокой скорости работы метода при большом проценте обнаруживаемых уязвимостей. Возможность же итеративного выполнения его фаз с необходимыми корректировками предоставляет полный контроль над процессом поиска.

Буйневич М.В. д-р тех. наук, проф., профессор кафедры общетехнических и специальных дисциплин, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Россия, г. Санкт-Петербург,

Израйлов К.Е., аспирант, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, Россия, г. Санкт-Петербург,

Щербаков О.В. д-р тех. наук, проф., профессор кафедры прикладной математики и информационных технологий, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Россия, г. Санкт-Петербург,

Построение любого метода «поверх» подходящей модели является рациональным, а вследствие особенностей самого метода необходимым решением. Хотя его входными данными и является МК с четко заданным синтаксисом, основные результаты и конечная цель представляют собой такие зачастую неоднозначные и субъективные понятия, как алгоритм и уязвимость.

Это приводит к необходимости применения модели, которая бы позволила отразить основные понятия метода с помощью более формальных объектов. Так как основная часть метода автоматизирована, предлагаемое для этой цели специализированное программное средство (так называемая утилита [3]) – и вовсе не может быть реализовано без каких-либо математических (в основном программных) моделей. Этот вывод следует, например, из применяемого в утилите внутреннего представления, основанного на графах и деревьях [4].

Выбору и описанию подходящей модели для задачи поиска уязвимостей в МК и посвящена настоящая статья.

Требования к модели. Определим вначале элементы модели (далее – элементы), которые будут отражать особенности самого метода.

Во-первых, объектом для применения метода является МК, который должен быть связан с большинством других элементов предметной области.

Во-вторых, назначение метода заключается в восстановлении алгоритмов кода – значит, некое их представление должно быть четко отражено в модели. В-третьих, целью метода служит поиск уязвимостей, а, следовательно, введение в саму модель такого элемента сильно упростило и расширило бы его применение.

Корректности ради заметим, что в модели достаточно поддержка не столько окончательной и верной информации об уязвимостях (что практически невозможно), сколько вероятности (или «подозрительности») их наличия. И, наконец, четвертым элементом должны быть метаданные кода (например, сигнатуры функций и глобальные переменные), частично присутствующие в МК и восстанавливаемые методом.

Понятия «алгоритм кода» и «уязвимость» в рамках метода являются чрезмерно широкими и для более точного отражения реального объекта описания (то есть, МК) требуют «дробления».

Для этого разделим понятие алгоритма кода на два: архитектура кода и алгоритм отдельной функции. Первое логично будет соответствовать

схеме взаимодействия функций, а второе – работе самих функций. Затем произведем типизацию уязвимостей путем их иерархической структуризации (стратификации), что отражено в следующей таблице (строки таблицы расположены в порядке увеличения масштаба страты).

Таблица

Тип уязвимости	Структурный уровень	Местоположение в коде
Вычислительный	Низкий (НУ)	Реализация вычислений, типов и структур данных
Алгоритмический	Средний (СУ)	Логика работы алгоритмов функций
Архитектурный	Высокий (СУ)	Схема взаимодействия функций

Примечание. Далее будем использовать сокращенные обозначения типов уязвимостей по их страте, а именно – НУ, СУ и ВУ.

Для лучшего представления страт приведем реальные примеры уязвимостей по всем трем типам. Типичным примером НУ является ошибка реализации функции при работе с массивами, такая как выход за пределы их допустимого диапазона. К ошибке СУ может быть отнесена неверная реализация схемы алгоритма шифрования DES [5] (при корректной реализации отдельных ее шагов). И наконец, пожалуй, самой тяжело формализуемой уязвимостью, а именно ВУ, может являться такое построение архитектуры, при котором модули обработки конфиденциальной информации передают данные без использования требуемого механизма защиты (например, пароли для раскрытия информации расположены в области памяти, к которой возможен несанкционированный доступ). С критичностью наличия последнего типа можно ознакомиться в авторской статье [6].

Необходимо отметить, что при такой типизации уязвимостей метод применим исключительно к СУ и ВУ. Однако это является лишь его ограничением, а не недостатком; методы и программные средства для поиска НУ в той или иной степени существуют и постоянно развиваются, чего нельзя сказать про уязвимости более высоких страт – на их поиске собственно и позиционируется метод.

Помимо определения элементов модели к ней предъявляются «общенаучные» требования, которые в рамках метода определяются как:

- Адекватность – модель должна соответствовать представляемому ею МК, в котором возможно наличие разнотиповых уязвимостей и который должен быть описан в алгоритмизированном виде.
- Анализируемость – получаемые с ее помощью результаты, а именно алгоритмы, должны подходить для последующего анализа экспертом по безопасности кода (далее – эксперт).
- Универсальность – модель по возможности должна мало зависеть от процессора МК и

различных модификаций языка конечного описания его алгоритмов.

- Целесообразность – ресурсы, затрачиваемые на использование модели, должны подтверждать заявленное преимущество метода как низкотрудоемкого и высокоэффективного по сравнению с аналогами.

Анализ сферы моделирования МК показал отсутствие каких-либо моделей в принципе. Если быть более точным, то существует лишь «классическая» модель, явно нигде не упоминаемая и подразумеваемая de-facto. Ее описание приведено далее.

«Классическая» модель. Данная модель позволяет представить практически любой МК с позиции процессорных инструкций. Применением ее является как разработка и отладка самого кода, так и реализация всевозможных методов его анализа. К ним, в частности, относится и поиск уязвимостей. Модель неявно применяется в таких программных средствах, как компиляторы, ассемблеры, дизассемблеры и антивирусы.

Схема модели, адаптированная для использования в методе (путем внесения в нее всех требуемых элементов – МК, уязвимостей, алгоритмов, метаданных), представлена на рис. 1.

Основными элементами «классической» модели являются инструкции машинного кода, разделенные на блоки (в лучшем случае – на функции), что неизбежно приводит к затруднительному представлению более высокоуровневых абстрактных элементов (алгоритмы функций, архитектура). Так, например, если НУ и хорошо представляются моделью, то СУ «размыты» по всем элементам кода, что не дает эффективно применять алгоритмы их поиска. То же самое относится и к алгоритмам функций, нераздельно связанным в модели с МК, который (как неоднократно отмечалось в авторских статьях) абсолютно не подходит для анализа Экспертом. Остаточные же метаданные в МК, также

присутствующие в модели, не предназначены для решения задачи метода; ко всему прочему они, как и алгоритм, являются неотделимой частью МК.

С учетом вышеизложенного напрашивается вывод, что использование метода (а в особенности

автоматизирующих его программных средств) на базе данной (пусть адаптированной, но все же «классической») модели будет крайне затруднительным.



Рис. 1. Адаптированная «классическая» модель машинного кода

Завершая анализ применимости данной модели, кратко укажем выполнение ею выдвинутых требований. Модель имеет недостаточную адекватность к реальной задаче по алгоритмизации кода, а анализируемость получаемых на ней результатов предсказывается как низкая. Хотя модель и имеет достаточную универсальность для представления кода, абсолютная нецелесообразность ее использования сводит на нет это единственное преимущество. Таким образом, логичным является создание собственной модели, построенной на заданных элементах и удовлетворяющей всем требованиям. В дополнение она сможет хотя бы частично заполнить пустующую сферу моделирования МК, заменив лишь негласно подразумеваемую «классическую» модель на вполне определенную – названную авторами «структурной».

«Структурная» модель. Идея предлагаемой модели заключается в создании системы следующих псевдоортогональных плоскостей: вложенных структур абстракций программного кода и линейного МК, обладающих следующими свойствами. Во-первых, из-за псевдоортогональности все абстракции связаны со своими представлениями в МК, что позволит избежать потери какой-либо существенной низкоуровневой информации (эта часть схожа с «классической» моделью). А, во-вторых, алгоритмы метода могут решать его подзадачи на элементах более высоких уровней абстракции (например, проводить анализ алгоритмов функций и построение связей между ними), поскольку последние имеют выделенную плоскость представления.

Таким образом, без потери самого МК, модель включает в себе основные иерархические

элементы соответствующего ему исходного кода. В интересах же решения основной задачи метода, состав ее элементов должен быть дополнен СУ и ВУ.

Для автоматизированного применения любого метода модель должна содержать данные и интерфейсы, которые могут применяться при моделировании с помощью программных средств.

Схема предлагаемой модели (далее – структурная модель) представлена на рис. 2.

Как хорошо видно, структурная модель содержит все необходимые элементы (при этом ни один из них не является «размытым» по предметной области), поддерживается их четкая иерархия, заложены условия для практического применения.

Также структурная модель соответствует всем необходимым требованиям: она содержит инструкции МК с уязвимостями, прогнозируемые на ней результаты (алгоритмы и уязвимости) подходят для анализа экспертом, основная часть модели не зависит от характеристик процессора МК, а наличие интерфейсов и данных позволяет добиться высокой степени автоматизации.

Объектом исследований на модели является МК, предметом исследования – его алгоритмическое представление, а конечной целью – поиск СУ и ВУ (далее под термином «уязвимость» будем подразумевать только эти два типа). Для применения в методе наиболее подходящим формальным видом модели является совокупность аналитического и информационного (включая формально-логический); собственно моделированием же может быть математическое на базе компьютерного. Границы применимости модели распространяются на любой МК, но при наличии исходного кода ее

эффективность (впрочем, как и метода в целом) будет ниже альтернативных – область поиска уяз-

вимостей по исходному коду имеет более развитую (как теоретическую, так и практическую) базу.

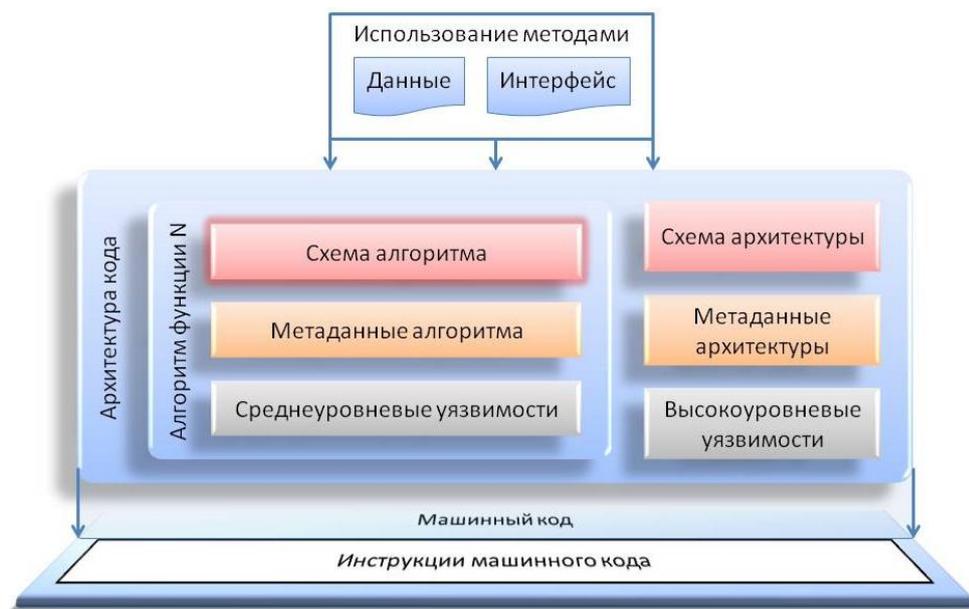


Рис. 2. «Структурная» модель машинного кода

Моделирование. При внимательном рассмотрении схемы метода [7] можно заметить, что она в точности описывает процесс моделирования МК (далее – моделирование), примененный к каждому конкретному экземпляру кода. То есть, алгоритмизацию МК с целью поиска уязвимостей можно считать созданием его точной модели с целью проведения необходимых экспериментов по воссозданию алгоритмов, их анализу и «переносу» найденных уязвимостей на код. Рассмотрим такое отождествление более подробно.

Акторы процесса моделирования соответствуют следующим сущностям метода: познаваемым объектом является конкретный вариант исследуемого МК, познающим субъектом – эксперт, а инструментом познания – собственно предложенная «структурная» модель, создаваемая для каждого экземпляра МК.

Хотя взаимно-однозначное соответствие фаз метода и моделирования и отсутствует, их совокупности совпадают: каждая фаза метода имеет свое отражение и в процессе моделирования, – что показано на рис. 3.

Важно отметить, что согласно рис. 3, наиболее «тяжелая» часть моделирования (фазы 2–4) полностью соответствует основной части Метода (фаза 2) и, следовательно, может быть реализована с помощью программного средства – утилиты.

Таким образом, в контексте моделирования авторский метод можно определить как: *процесс математического моделирования экземпляра МК на базе «структурной» модели с целью получения алгоритмов его работы, итерационно проводимый экспертом с использованием утилиты.*

Заключение. Как было показано выше, пока не существует подходящих моделей, на которых мог бы строиться метод поиска уязвимостей в МК. Удовлетворительным разрешением этой проблемной ситуации может служить предлагаемая авторами «структурная» модель. При этом она вкуче с авторским методом тождественна каноническому процессу моделирования, что является хоть и косвенным, но доказательством ее достоверности. Прямым доказательством может служить только ее работоспособность.

В завершении заметим, что, на первый взгляд, может показаться невозможность реального применения как самой модели, так и процесса моделирования предметной области. Причина такого суждения вытекает из очевидной необходимости проведения крайне не тривиального преобразования МК из его начальной формы (текстового ассемблера) к той, которая является основной для модели (некая трехмерная система взаимосвязанных параметров кода, таких как инструкции кода, графы алгоритмов, множество метаданных, предположения об уязвимостях). В ином случае как построить модель для отдельного экземпляра МК, так и выделить в нем алгоритмы, будет попросту невозможно.

Однако все эти преобразования согласно фазам моделирования могут быть решены с помощью утилиты, существование и работоспособность которой (пускай пока и имеющей вид прототипа) подтверждается опубликованными примерами ее работы [3, 4], а также реальной возможностью проведения натурной алгоритмизации в виде Web-приложения [8].

Фазы Метода		Фазы Моделирования	
Фаза 1	Преобразование бинарного представления машинного кода в ассемблерное	Постановка задачи	Фаза 1
		Получение информации об объекте-оригинале	
Фаза 2	Обработка ассемблерного представления машинного кода	Разработка модели	Фаза 2
		Проведение эксперимента	Фаза 3
	Алгоритмизации машинного кода	Формирование множества знаний и перенос их с модели на оригинал	Фаза 4
Фаза 3	Анализ алгоритмизированного представления машинного кода и поиск уязвимостей	Анализ и практическая проверка полученных знаний об объекте	Фаза 5
Фаза 4	Повторение с Фазы 2 (в случае необходимости уточнения результатов)	Циклическое повторение фаз процесса моделирования с целью расширения и уточнения знаний	

Рис. 3. Соответствие фаз метода и моделирования

Также остались за кадром какие-либо детали собственно самого способа построения модели, проведения на ней экспериментов и формирование

оценок эффективности. Такого рода информация (по мере получения результатов авторами) будет представлена в последующих публикациях.

Библиографический список

1. Израйлов, К. Е. Алгоритмизация машинного кода телекоммуникационных устройств как стратегическое средство обеспечения информационной безопасности / К. Е. Израйлов // Национальная безопасность и стратегическое планирование. – 2013. – № 2 (2). – С. 28–36.
2. Буйневич, М. В., Израйлов, К. Е. Метод алгоритмизации машинного кода телекоммуникационных устройств / М. В. Буйневич, К. Е. Израйлов // Телекоммуникации. – 2012. – № 12. – С. 2–6.

References

1. Izrailov, K. E. Algoritmizatsiya mashin-nogo koda telekommunikatsionnyih ustroystv kak strategicheskoe sredstvo obespecheniya informatsionnoy bezopasnosti / K. E. Izrailov // Natsionalnaya bezopasnost i strategicheskoe planirovanie. – 2013. – № 2 (2). – С. 28–36.
2. Buynevich, M. V., Izrailov, K. E. Metod algoritimizatsii mashinnogo koda telekommunikatsionnyih ustroystv / M. V. Buynevich, K. E. Izrailov // Telekommunikatsii. – 2012. – № 12.

3. **Буйневич, М. В., Израйлов К. Е.** Автоматизированное средство алгоритмизации машинного кода телекоммуникационных устройств / М. В. Буйневич, К. Е. Израйлов // Телекоммуникации. – 2013. – № 6. – С. 2–9.

4. **Израйлов, К.Е.** Внутреннее представление прототипа утилиты для восстановления кода / К. Е. Израйлов // Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире: матер. II Междунар. научно-практ. конф. – СПбГПУ, 2013. – С. 79–90.

5. **Data Encryption Standard (DES)** // Википедия: энциклопедия. URL: http://wikipedia.org/wiki/Data_Encryption_Standard (15.03.2014).

6. **Израйлов, К.Е.** Архитектурные уязвимости программного обеспечения / К. Е. Израйлов // «ИНЖЭКОН-2013»: тез. докл. VI науч. конгресса студентов и аспирантов. СПбГИЭУ. 18-19 апреля 2013 г. – СПб, 2013. – С. 35.

7. **Buinevich, M., Izrailov, K.** Method and utility for recovering code algorithms of telecommunication devices for vulnerability search / M. Buinevich, K. Izrailov // The 16th International Conference on Advanced Communications Technology (ICACT-2014), Bongpyeong-myeon, Korea (South), on February 16-19, 2014. – P. 172-176.

8. **On-line версия программы восстановления машинного кода** [личный сайт Израилова К.Е.]. URL: <http://demono.ru/onlineDemono.aspx> (16.03.2014).

– С. 2–6.

3. **Buynevich, M. V., Izrailov K. E.** Avtomatizirovannoe sredstvo algoritimizatsii mashinnogo koda telekommunikatsionnykh ustroystv / M. V. Buynevich, K. E. Izrailov // Telekommunikatsii. – 2013. – № 6. – С. 2–9.

4. **Izrailov, K.E.** Vnutrennee predstavlenie prototipa utilityi dlya vosstanovleniya koda / K. E. Izrailov // Fundamentalnye i prikladnye issledovaniya v sovremennom mire: mater. II Mezhdunar. nauchno-prakt. konf. – SPbGPU, 2013. – S. 79–90.

5. **Data Encryption Standard (DES)** // Vikipediya: entsiklopediya. URL: http://wikipedia.org/wiki/Data_Encryption_Standard (15.03.2014).

6. **Izrailov, K.E.** Arhitekturnye uyazvimosti programmogo obespecheniya / K. E. Izrailov // «INZhEKON-2013»: tez. dokl. VI nauch. kongressa studentov i aspirantov. SPbGIEU. 18-19 aprelya 2013 g. – SPb, 2013. – С. 35.

7. **Buinevich, M., Izrailov, K.** Method and utility for recovering code algorithms of telecommunication devices for vulnerability search / M. Buinevich, K. Izrailov // The 16th International Conference on Advanced Communications Technology (ICACT-2014), Bongpyeongmyeon, Korea (South), on February 16-19, 2014.

8. **On-line versiya programmy vosstanovleniya mashinnogo koda** [lichnyiy sayt Izrailova K.E.]. URL: <http://demono.ru/onlineDemono.aspx> (16.03.2014).

MODEL OF MACHINE CODE SPECIALIZED FOR VULNERABILITIES SEARCH

M.V. Buinevich,

doctor of technical sciences, professor,
Saint-Petersburg university of State fire service of EMECOM of Russia
Russia, Saint-Petersburg;

K.E. Izrailov, adjunct,

Saint-Petersburg state university of telecommunication named after prof. M.A. Bonch-Bruевич,
Russia, Saint-Petersburg;

O.V. Scherbakov, doctor of technical sciences, professor,
Saint-Petersburg university of State fire service of EMECOM of Russia,
Russia, Saint-Petersburg.

Described the background to the using of model of machine code in the method algorithm presentation. Given elements and requirements of this model. Compared with the «classical» model. Described the process of modeling.

Keywords: security, software, vulnerability, modeling, machine code, algorithm presentation.



ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 616.84 : [001.835 : 002.513]

ВОЗМОЖНОСТИ ПОИСКА И АНАЛИЗА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ НАУЧНЫХ СТАТЕЙ В СФЕРЕ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ПОЖАРОВ И ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В. И. Евдокимов

Показан алгоритм поиска отечественных статей в базе данных Научной электронной библиотеки. Сформирован массив, содержащий 3931 отечественную публикацию в сфере ликвидации последствий пожаров и пожарной безопасности. Ежегодно в 2005–2013 гг. база данных Российского индекса научного цитирования пополнялась на (427 ± 66) статей. Статей, содержащих полные тексты, было 2834, или 70,1 %. Доступных пользователю библиотеки – 1642, или 41,8 %. В структуре сформированного массива 26,5 % статей относились к общим и комплексным проблемам технических и прикладных наук и отраслей народного хозяйства (рубрика 81.00.00 Государственного рубрикатора научной и научно-технической информации), в которую входят подрубрики 81.92.00 «Пожарная безопасность» и 81.93.00 «Безопасность. Аварийно-спасательные службы». Отмечается низкое цитирование статей сформированного массива. Процитированы хотя бы 1 раз только 845, или 24 %, статей, а остальные – 3086, или 76 %, статей не цитировались вовсе, при том, что индекс самоцитирования составил 39,7 %. Представлены некоторые автоматизированные опции анализа массива публикаций в сфере ликвидации последствий пожаров и пожарной безопасности.

Ключевые слова: пожары, чрезвычайные ситуации, информационный поиск, статьи, библиотеки, Научная электронная библиотека, Российский индекс научного цитирования, Science Index, Scopus, Web of Science.

Введение. Чтобы избежать «тупиковых» направлений в исследовании, или, по крайней мере, исключить методические ошибки, с которыми ученые сталкивались ранее, необходим анализ уже существующего массива информации. Наиболее оперативно научная информация появляется в статьях, представляющих собой самый распространенный вид публикаций.

На рис. 1 представлена динамика изменения количества отечественных и мировых журнальных публикаций.

Евдокимов В. И., д-р мед. наук, проф.,
Всероссийский центр экстренной и радиационной
медицины им. А.М. Никитова МЧС России,
Россия, г. Санкт-Петербург,
e-mail: 9334616@mail.ru

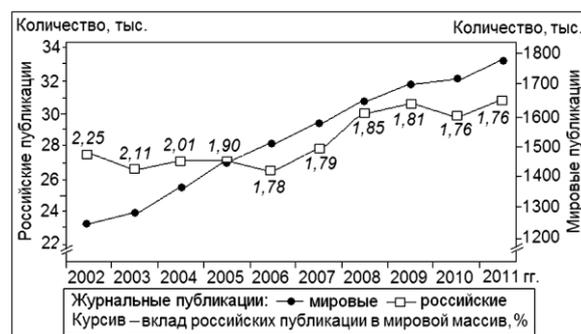


Рис. 1. Динамика изменения количества отечественных и мировых журнальных публикаций WoS (адаптировано по [1]). Курсивом отмечен вклад российских публикаций в мировой массив (%).

Самыми представительными мировыми информационно-реферативными базами данных (БД) являются Web of Science (WoS) компании «Thomson Reuters» (США) и Scopus издательства «Elsevier» (Голландия). WoS индексирует более 14

тыс. научных журналов, Scopus – около 21 тыс. WoS имеет более чем 50-летнюю историю развития, которая ведет свое начало с созданного Юджином Гардфилдом в 1960-х годах Института научной информации (Institute of Scientific Information). Scopus создан в 2004 г. на основе объединения БД издательства «Elsevier» и «Medline» Национальной медицинской библиотеки США. Последний обладает более современным и удобным интерфейсом поиска и анализа информации, уже сейчас его ресурс на 20 % больше, чем у других БД [2].

БД функционируют на коммерческой основе и доступны пользователям по подписке. В настоящее время бесплатный доступ к ним предоставляют ведущие библиотеки и университеты страны. Например, автор данной статьи пользуется электронными ресурсами Научной библиотеки им. М. Горького Санкт-Петербургского государственного университета.

В обеих БД преобладают публикации на английском языке, что не всегда удобно, поэтому в некоторых странах разрабатываются свои системы наукометрии (например, в Китае – Chinese Science Citation Index, в Японии – Citation Database for Japanese Papers и др.).

На рис. 2 представлена динамика изменения количества публикаций мировых статей, проиндексированных в Scopus, которые были найдены по поисковым словам «fire» и «fire safety». Ежегодно БД Scopus пополнялась на (950 ± 40) публикаций в сфере пожарной безопасности и на (7400 ± 260) статей, в названии, реферате и ключевых словах которых присутствует слово «fire». В этом случае были найдены публикации не только по пожарной тематике, но и по вооружению, извержению вулканов, астрономии, и даже посвященные анализу музыкального произведения «Прометей» («Поэма огня») композитора А. Н. Скрябина.

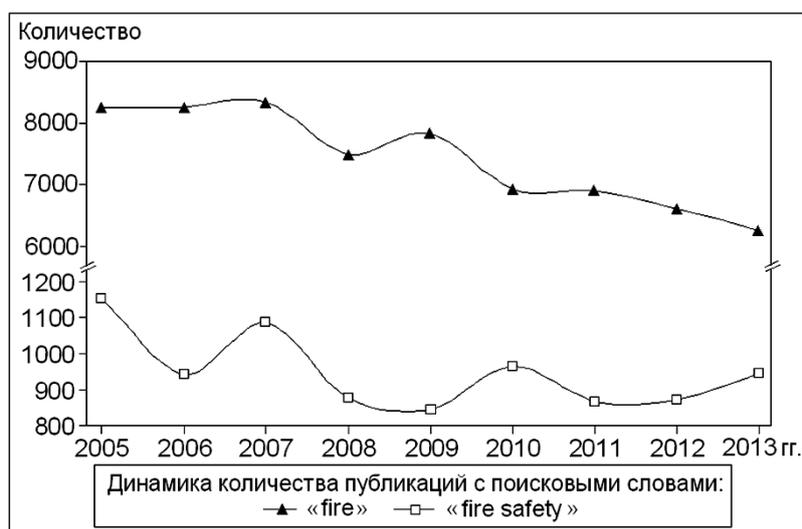


Рис. 2. Динамика изменения количества публикаций, проиндексированных в БД Scopus (на 10.04.2014 г.).

По самым оптимистичным прогнозам, из 330 тыс. ежегодно издающихся отечественных статей в мировые БД попадает не более 10 %. Прослеживается динамика уменьшения доли отечественных научных статей, которые представляют не более 2 % мировых (см. рис. 1). Например, ежегодно в БД WoS появляется только около 28 тыс. российских статей, в Scopus – 33 тыс. [3].

Низкая степень интеграции отечественных исследователей в мировое научное сообщество определила необходимость создания отечественной реферативно-библиографической базы данных. Проект стартовал в 2005 г., когда Научная электронная библиотека (НЭБ) стала победителем конкурса Минобрнауки России на создание Российского индекса научного цитирования (РИНЦ), для чего издателям рекомендовалось представлять в НЭБ

так называемые цитатные базы статей, которые помимо библиографической записи содержали сведения об авторах, учреждениях и списки цитируемых научных источников. РИНЦ – это национальная информационно-аналитическая система, аккумулирующая около 4,7 млн публикаций российских авторов, а также информацию о цитировании этих публикаций более чем в 4200 российских журналах. На платформе НЭБ в полнотекстовом виде представлено около 3200 журналов, в том числе 2000 – в бесплатном открытом доступе [4].

В последние годы ресурс НЭБ стал пополняться библиографическими записями из сборников научных трудов, конференций, патентов изобретений и авторефератов диссертаций. Авторы через гиперссылки могут представлять там полные тексты монографий и других книжных изданий.

В 2012 г. база данных РИНЦ позволила создать информационно-аналитическую систему Science Index, осуществляющую комплексные аналитические и статистические исследования публикационной активности более 600 тыс. российских научно-педагогических работников, 11 тыс. научных учреждений и образовательных организаций, в результате чего можно получать точную и объективную оценку результатов их научной деятельности [5].

Однако следует учитывать, что у ведущих ученых отрасли, имеющих значительное количество монографий и других книжных изданий, но публикующих мало статей, публикационные индексы могут быть невысоки, поскольку они рассчитываются в основном с опорой на научные статьи, находящиеся в РИНЦ и вышедшие в свет с 2005 г.

Цель исследования – представить алгоритм поиска и анализа отечественных научных статей в сфере ликвидаций последствий пожаров и пожарной безопасности, представленных в Российском индексе научного цитирования.

Материалы и методы. Объект исследования составил электронный ресурс отечественных научных статей НЭБ [4], предмет – статьи в сфере ликвидаций последствий пожаров и пожарной безопасности, опубликованные в 2005–2013 гг.

Алгоритм поиска статей, размещенных в Российском индексе научного цитирования, представлен на рис. 3. С главной страницы электронного ресурса НЭБ через опцию «Поисковые запросы» (рис. 3, п. 1) следует перейти на страницу поисковых режимов. Поиск может быть осуществлен по:

- ключевым словам;
- видам изданий;
- тематике (например, во всплывающей ячейке тематического рубрикатора – Государственного рубрикатора научной и научно-технической информации (ГРНТИ) – следует активировать номер кода, и в автоматизированном режиме в поисковый режим добавляется определенная рубрика или подрубрика отрасли знания);
- авторам (включенным в РИНЦ);
- журналам (издатели которых представляют в РИНЦ цитатные БД статей) (см. рис. 3, п. 2).

Если пользователем созданы массивы статей по поисковым запросам, то поиск можно провести в опции «Искать в подборке публикаций».

В качестве поискового слова использовалось слово «пожар». Так как предметом исследования являлись только журнальные публикации, был активирован режим поиска статей (в названии, в аннотации, ключевых словах, статьи в журналах) (рис. 3, п. 3).

При проведении информационного поиска необходимо установить хронологические границы. Поскольку в РИНЦ в основном индексируются журнальные статьи с 2005 г., для поиска был выбран период с 2005 по 2013 год. (рис. 3, п. 4).

Сортировку публикаций можно проводить при помощи выпадающего списка: по релевантности (значимости), дате выпуска, названию журнала, названию статьи, количеству цитирований и т.д. (рис. 3, п. 5).

Слова в поисковых выражениях следует соединять при помощи логических (булевых) операторов:

- если слова соединяются операторами присоединения «И (and)», то в названии, ключевых словах или реферате искомым документам будут содержаться все соединенные слова;
- если – «ИЛИ (or)», то в документах будет найдено хотя бы одно из соединенных поисковых слов;
- если – «НЕ (not)», то исключаются те документы, которые имеют слова, указанные после оператора;
- если оператор не указан, то поисковые слова автоматически соединяются оператором «И».

В иностранных поисковых системах указывается англоязычная транскрипция оператора. В нашем исследовании при поиске было использовано одиночное слово с учетом морфологии (оставляется корневое выражение понятия и исключаются родовые и падежные окончания).

При помощи поискового слова «пожар» и составленного ранее поискового режима были найдены 4237 публикаций (рис. 3, п. 6).

Опция «Добавить все страницы с результатами поиска в указанную выше подборку» позволяет переместить найденные статьи либо во вновь создаваемую подборку «Новая подборка», либо в уже сформированную. При активировании этой опции во всплывающем окне создаваемому массиву статей было присвоено название «Пожар_09.14.2014» (рис. 3, п. 7). Таким образом, все публикации, найденные по запросу «пожар», были помещены во вновь созданную подборку (рис. 3, п. 8).

При необходимости вернуться к результатам поиска (например, ввести новое поисковое слово «огнеопасность») нужно активировать опцию «Вернуться к поисковой форме и изменить условия запроса» (рис. 3, п. 9).

По завершении поиска следует активировать опцию «Перейти в подборку» (рис. 3, п. 10). Это потребует некоторого времени, т.к. ответ с электронного ресурса НЭБ происходит не сразу.

На рис. 4 представлена страница «Список публикаций по подборке». После удаления из подборки статей, не подходящих по тематике, из первоначальных 4237 найденных публикаций осталась 3931 статья (рис. 4, п. 1).

После активации названия статьи можно перейти на окно ее реферата и цитатных баз данных (рис. 4, п. 2). Окно содержит полное библиографическое описание статьи, данные о месте работы авторов, ключевые слова, реферат на русском и английском языке, а также список процитированной в статье литературы.



2 ПОИСКОВАЯ ФОРМА

Что искать:

Где искать:
 - в названии публикации
 - в аннотации **3**
 - в названиях организаций авторов
 - в списках цитируемой литературы
 - в ключевых словах
 - в полном тексте публикации

Тип публикации:
 - статьи в журналах
 - книги
 - материалы конференций
 - депонированные рукописи
 - диссертации
 - отчеты
 - патенты

Искать в подборке публикаций:

Параметры: - искать с учетом морфологии

Годы публикации: 2005 **4** 2013 Поступившие за все время

Сортировка **5** Порядок Очистить Поиск

6 РЕЗУЛЬТАТЫ ПОИСКОВОГО ЗАПРОСА

ВСЕГО НАЙДЕНО ПУБЛИКАЦИЙ: 4237 из 18798933

№	Публикация	Цит.
28	ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ <i>Левко И.А.</i> Автометрия, 2009, Т. 45, № 2, С. 61-68.	0
29	АДАПТИВНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ОСНОВЕ РЕКУРРЕНТНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ <i>Козик В.И., Нежеванко Е.С., Февкстигов А.С.</i> Автометрия, 2013, Т. 49, № 3, С. 44-55.	0

В начало << 1 2 3 4 5 6 7 >> В конец

8 eLIBRARY.RU - Добавление публикаций

Укажите название для подборки публикаций: Пожар_09.04.2014

Создать Отмена

10 eLIBRARY.RU - Добавление публикаций

Добавлено 4237 публикаций в подборку Пожар_09.04.2014

Закрыть Перейти в подборку **10**

Возможные действия

Следующая страница
Предыдущая страница

Выделить все публикации на этой странице
Снять выделение

Добавить выделенные статьи в подборку:
Новая подборка

Добавить все страницы результатами поиска в указанную выше подборку **7**

↑ ↓

Вернуться к поисковой форме и изменить условия запроса

Создать новый поиск **9**

Список Ваших персональных подборок публикаций

1 Тематический рубрикатор

Каталог журналов

Подборки публикаций

Подборки журналов

Авторский указатель

Ключевые слова

Поиск в библиотеке

Поиск

Расширенный поиск

Навигатор

Персональная карточка

Список издательств

Общая статистика

Статистика для организации

Статистика для издательства

Новые журналы

Поисковые запросы

Рис. 3. Алгоритм поиска статей и создания БД поискового запроса в РИНЦ [4].

Публикации в РИНЦ снабжены «иконкой» (рис. 4, п. 3), которая позволяет судить о доступности статьи в зависимости от ее цвета («цвета светофора»):

- зеленый – доступ к полному тексту статьи в формате PDF открыт;
- желтый – доступ возможен за определенную плату,

- красный – доступ к полному тексту закрыт.

Автоматизированный анализ созданного массива статей осуществляется при активировании опции «Анализ публикаций в данной подборке» или знака «елочки» (рис. 4, п. 4). Окно анализа публикаций в подборке (рис. 4, п. 5) содержит общие наукометрические сведения и статистические графические отчеты (рис. 4, п. 5).

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ В ПОДБОРКЕ

ПОЖАР_09.04.2014 Параметры ▾

Показано на данной странице: с **101** по **200**.

	Публикация	Цит.
108	НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕРМОГАЗОДИНАМИКИ ПОЖАРА В АТРИУМЕ Пузач С.В., Базилиевич А.Я., Карленко Д.Г., Кольцов А.А. Пожаровзрывобезопасность. 2005. Т. 14. № 2. С. 41-49.	0
109	МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРОВ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ Ми Зуй Тянь, Корольченко А.Я. Пожаровзрывобезопасность. 2005. Т. 14. № 5. С. 42-50.	0

Возможные действия

- ▶ Следующая страница
- ▶ Предыдущая страница
- ▶ Выделить все публикации на данной странице
- ▶ Снять выделение
- ▶ Удалить выделенные публикации из подборки 1
- ▶ Очистить подборку
- ▶ Добавить выделенные публикации в подборку:

Пожар_09.04.2014 ▾

- ▶ Копировать все публикации из подборки "Пожар_09.04.2014" в указанную выше подборку публикаций
- ▶ Список Ваших персональных подборок публикаций
- ▶ Вывести список статей, цитирующих публикации в данной подборке
- ▶ Вывести список ссылок на публикации в данной подборке
- ▶ Анализ публикаций в данной подборке
- ▶ Расширенный поиск публикаций в данной подборке

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ В ПОДБОРКЕ

ПОЖАР_09.04.2014

Общие показатели:

Общее число публикаций	3931
Число авторов	5854

Статистические отчеты:

- ▶ Распределение публикаций из подборки по тематике
- ▶ Распределение публикаций из подборки по журналам
- ▶ Распределение публикаций из подборки по организациям
- ▶ Распределение публикаций из подборки по годам

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО ГОДАМ

публикации из подборки "Пожар_09.04.2014"

Год	Статей
2013	645
2012	669
2011	638
2010	488
2009	414
2008	359
2007	292
2006	255
2005	171

Рис. 4. Алгоритм анализа сформированного поискового запроса.

Результаты и их анализ. Поисковый запрос позволил найти 4237 ссылок на статьи в сфере ликвидации последствий пожаров и пожарной безопасности. Обращает на себя внимание высокий процент так называемого поискового шума, который в 2005 г. и 2006 г. составлял, соответственно 45,5 и 42,6 % от общего количества найденных статей. В эти годы в электронный ресурс дополнительно были введены ссылки из реферативных журналов, которые дублировали библиографические записи статей из журналов. Из найденного массива были удалены также ссылки на зарубеж-

ные публикации. С учетом указанного поисковый шум в массиве статей в анализируемый период составил 9 %. После исключения «поискового шума», была проанализирована 3931 отечественная статья в сфере ликвидации последствий пожаров и пожарной безопасности. Динамика документального потока отечественных статей представлена на рис. 5. Оказалось, что в 2005–2013 гг. по данной тематике ежегодно издавались по (427 ± 66) статей. Статей, содержащих полные тексты, было 2834, или 70,1 %, доступных пользователю библиотеки – 1642, или 41,8 %.

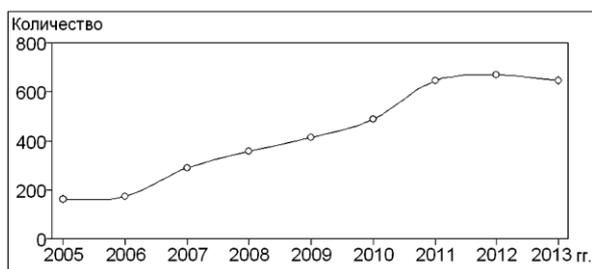


Рис. 5. Динамика изменения количества отечественных статей в сфере ликвидации последствий пожаров и пожарной безопасности в РИНЦ (на 09.04.2014 г.).

Общие статистические показатели статей в сформированной подборке публикаций «Пожар_09.04.2012» представлены в табл. 1.

Таблица 1

Общие показатели отечественного массива статей в сфере ликвидации последствий пожаров и пожарной безопасности в 2005–2013 гг. (на 09.04.2014 г.)

Характеристика	Число
Общее число публикаций	3931
Число авторов	5854
Среднее число публикаций в расчете на 1 автора	0,69
Суммарное число цитирований публикаций	2376
Среднее число цитирований в расчете на 1 статью	0,60
Число статей, процитированных хотя бы 1 раз	845
Число самоцитирований (из статей подборки)	943
Индекс Хирша	14

Проанализировав данные, представленные в таблице, можно отметить следующее. Например, среднее число цитирований в расчете на 1 публикацию составляет 0,60. Может создаться впечатление, что процитирована каждая вторая статья. Однако реально процитированы хотя бы один раз только 845 статей, или 24 %, а остальные – 3086, или 76 %, статей не цитировались вовсе. Более того, если общее количество цитирований статей подборки составило 2376, то 39,7 % – это так называемые самоцитирования, когда авторы цитировали свои работы, что, как правило, не приветствуется в научном сообществе.

Последняя строка таблицы содержит показатель индекса Хирша, предложенный американским физиком Хорхе Хиршем (H. Hirsch) в 2005 г. [6] для оценки числа публикаций и их цитируемости. Первоначально индекс был введен для оценки деятельности отдельного ученого, но затем стал применяться более широко и в настоящее время рассчитывается по любой БД (журнала, организации и пр.), в которой фиксируются цитирования.

Индекс Хирша – это показатель n статей, каждую из которых процитировали не менее n раз, а остальные статьи имеют ссылки не более n раз. В табл. 1 указано, что индекс Хирша сформированного массива статей равен 14, это значит, что массив содержит не менее 14 статей, которые процитированы 14 и более раз, а остальные статьи процитированы 13 и менее раз. В табл. 2 указаны статьи, которые имели 15 и более цитирований.

Таблица 2.

Наиболее часто цитируемые отечественные статьи в сфере ликвидации последствий пожаров и пожарной безопасности

Автор	Название статьи	Название журнала, выходные сведения	Число цитирований
Безкоровайная И.Н., Иванова Г.А., Тарасов П.А. и соавт.	Пирогенная трансформация почв сосняков средней тайги Красноярского края	Сибирский экологический журнал. 2005. Т. 12, № 1. С. 143–152	26
Беляев А.И., Коровин Г.Н., Лупян Е.А.	Использование спутниковых данных в системе дистанционного мониторинга лесных пожаров МПР РФ	Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2005. Т. 2, № 1. С. 20–29	24
Барановский Н.В.	Модель прогноза и мониторинга лесной пожарной опасности	Экология и промышленность России. 2008. № 9. С. 59–61	23
Волков Р.С., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А.	Численная оценка оптимальных размеров капель воды в условиях ее распыления средствами пожаротушения в помещениях	Пожаровзрывобезопасность. 2012. Т. 21, № 5. С. 74–78	20
Сакерин С.М., Кабанов Д.М.	Спектральная зависимость аэрозольной оптической толщи атмосферы в области спектра 0,37–4 мкм	Оптика атмосферы и океана. 2007. Т. 20, № 2. С. 156–164	19
Кузнецов Г.В., Барановский Н.В.	Детерминированный прогноз лесопожарных возгораний	Пожаровзрывобезопасность. 2006. Т. 15, № 5. С. 56–59	17
Акинин Н.И., Булхов Н.Н., Гериш В.А.	Статистический анализ причин аварий и травматизма на опасных производственных объектах	Пожаровзрывобезопасность. 2010. Т. 19, № 10. С. 53–55	16
Волков Р.С., Высокоморная О.В., Стрижак П.А.	Численное исследование условий взаимодействия диспергированного флегматизатора горения с высокотемпературными продуктами сгорания	Безопасность труда в промышленности. 2012. № 10. С. 74–79	15
Барановский Н.В., Кузнецов Г.В.	Конкретизация неустановленных причин в детерминировано-вероятностной модели прогноза лесной пожарной опасности	Пожаровзрывобезопасность. 2011. Т. 20, № 6. С. 24–27	15
Афонин С.В., Белов В.В., Соломатов Д.В.	Решение задач температурного мониторинга земной поверхности из космоса на основе RMT-метода	Оптика атмосферы и океана. 2008. Т. 21, № 12. С. 1056–1063	15

На рис. 6 представлены некоторые автоматизированные опции анализа статей из сформированного массива публикаций. В сформированном массиве, разумеется, преобладали статьи (26,5 %) по общим и комплексным проблемам технических и прикладных наук и отраслей народного хозяйства (рубрика 81.00.00 ГРНТИ), в которую входят под-рубрики 81.92.00 «Пожарная безопасность» и 81.93.00 «Безопасность. Аварийно-спасательные службы». 13,1 % составляют статьи по сельскому и лесному хозяйству (рубрика 68.00.00 ГРНТИ), 4,7 % – геофизике (37.00.00), 4,3 % – горному делу (52.00.00), строительству и архитектуре (67.00.00), 4,1 % – биологии (34.00.00), 47,3 % – прочие отрасли науки (рис. 6, п. 1).

Несколько иначе выглядел массив процитированных статей (рис. 6, п. 4). 11,8 % всех цитирований составили статьи по геофизике, 9,7 % – по общим и комплексным проблемам технических и прикладных наук и отраслей народного хозяйства, 9,4 % – по сельскому и лесному хозяйству, 3,8 % – по биологии. Вклад в общий массив цитирований прочих отраслей науки – 53,8 %.

В общей сложности ведущие журналы представляли в созданный массив 27,2 % статей (рис. 6, п. 2). Наибольшее количество статей было из профильных журналов «Пожаровзрывобезопасность» (8 %), «Пожарная безопасность» (6,7 %), «Технологии техносферной безопасности» (2,4 %).

Больше всего статей подготовили авторы из Академии Государственной противопожарной службы МЧС России (6,7 %), Всероссийского научно-исследовательского института противопожарной обороны МЧС России (4,6 %) и Института леса им. В.Н. Сукачева (3,5 %). В общей сложности 10 организаций (рис. 6, п. 3) издали 24,9 % статей от общего количества публикаций анализируемого массива.

23 отечественных автора опубликовали 15 и более статей в сфере ликвидации последствий пожаров и пожарной безопасности, у 10 – индекс Хирша был 1. В табл. 3 представлены наукометрические показатели ведущих авторов по публикационной активности, индекс Хирша которых составляет 2 и более. Для сравнения показаны также некоторые показатели из РИНЦ. Указанные авторы в среднем издавали по 2–4 статьи, что вполне согласуется со статистическими данными в науковедении, больше за 1 год подготовить оригинальных статей практически нельзя.

Даже у ведущих авторов отмечаются низкие показатели востребованности статей при достаточно высоком индексе самоцитирования. Только у 5 авторов каждая статья цитировалась по 2 раза и более. Среднее число цитирований в расчете на одну статью без самоцитирования составляет 1,46, а индекс Хирша – около 4.

Таблица 3.

Наукометрические показатели ведущих авторов в сфере ликвидации последствий пожаров и пожарной безопасности

Фамилия, имя и отчество автора (место работы, отраженное в РИНЦ)	Число статей в выборке	Число соавторов в выборке	Общее число цитирований	Число статей процитированных хотя бы 1 раз	Индекс самоцитирования, %	Среднее число цитирований в расчете на 1 статью (без самоцитирования)	Индекс Хирша статей	Показатель в РИНЦ	
								Всего статей	Индекс Хирша (без самоцитирования)
Пузач Сергей Викторович (Академия государственной противопожарной службы МЧС России)	38	41	32	10	53,1	0,40	3	74	6 (4)
Барановский Николай Викторович (Национальный исследовательский Томский политехнический университет)	35	16	125	19	33,6	2,37	6	95	13 (4)
Лупян Евгений Аркадьевич (Институт космических исследований РАН)	29	39	134	20	44,8	2,55	7	148	14 (8)
Гришин Анатолий Михайлович (Национальный исследовательский Томский политехнический университет)	25	29	37	13	29,7	1,04	4	138	10
Иванова Галина Александровна (Институт леса им. В.Н. Сукачева РАН)	24	30	81	17	29,6	2,76	4	48	10
Шебеко Юрий Николаевич (Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России)	23	44	28	10	35,7	0,78	3	138	10 (8)
Барталев Сергей Александрович (Институт космических исследований РАН)	21	37	88	15	27,3	3,04	6	107	12 (11)
Абдурагимов Иосиф Микаэлевич (Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)	19	2	12	8	41,7	0,37	2	22	4
Гордиенко Денис Михайлович (Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России)	19	31	28	10	25,0	1,11	3	31	4
Ершов Дмитрий Владимирович (Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН)	19	30	57	13	22,8	2,32	5	89	9 (8)
Брушлинский Николай Николаевич (Академия государственной противопожарной службы МЧС России)	16	27	17	8	11,8	0,93	2	41	4
Порошин Александр Алексеевич (Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России)	16	29	15	7	33,3	0,63	2	50	3 (2)
Еналеев Русям Шакирович (Казанский национальный исследовательский технологический университет)	15	21	16	16	31,3	0,73	3		

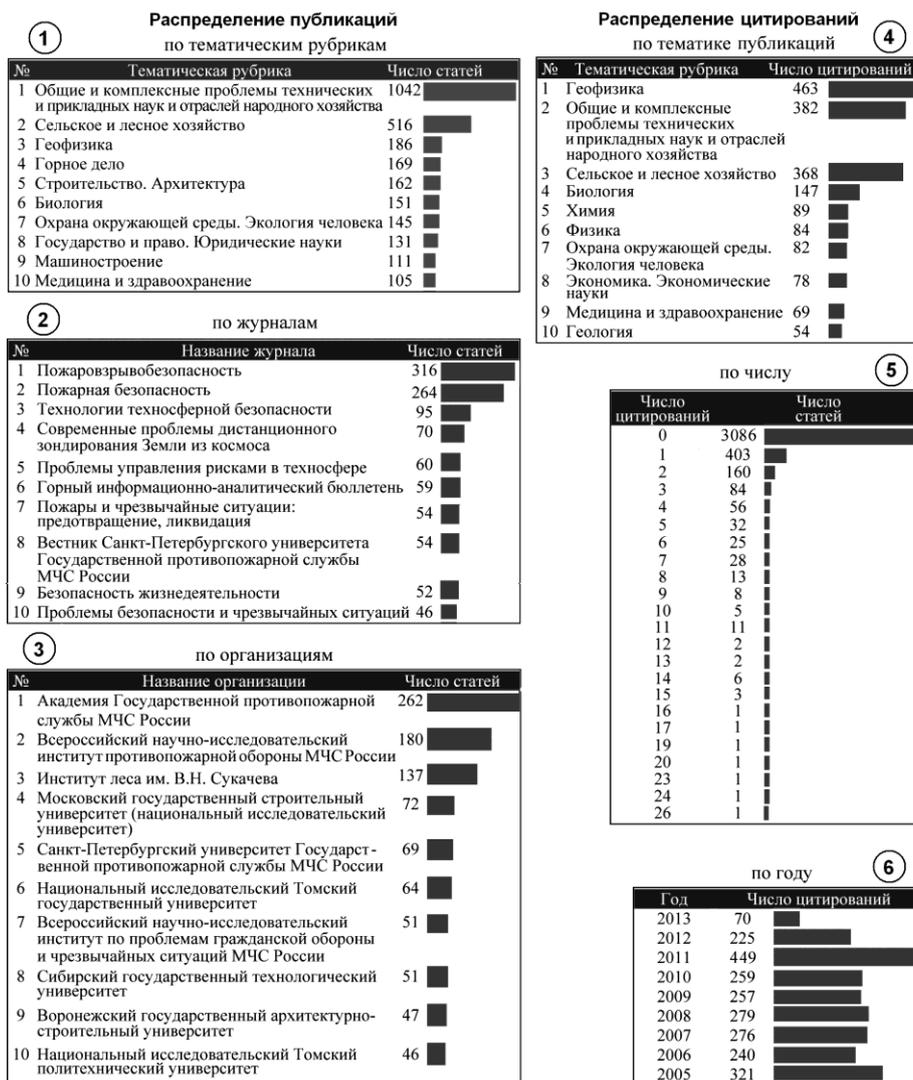


Рис. 6. Показатели некоторых автоматизированных опций анализа массива публикаций в сфере ликвидации последствий пожаров и пожарной безопасности в РИНЦ (2005–2013 гг.)

Заключение. Представленный алгоритм поиска позволил выявить 3931 отечественную публикацию в сфере ликвидации последствий пожаров и пожарной безопасности. Ежегодно в 2005–2013 гг. база данных РИНЦ пополнялась на (427 ± 66) статей. Статей, содержащих полные тексты, было 2834, или 70,1 %, доступных пользователю библиотеки – 1642, или 41,8 %.

Анализ современных отечественных и зарубежных работ и отражение (цитирование) их содержания в своих публикациях способствует повышению инновационной составляющей научных исследований. Научная электронная библиотека открывает большие возможности для изучения полных текстов публикаций в режиме отдаленного доступа и при необходимости для цитации их содержания в своих научных работах. Статьи некоторых журналов предоставляются на сайте библиотеки за плату: коммерческая выгода – сомнительна, снижение количества цитирований статей журнала – очевидно. Выявлена низкая востребованность

отечественных статей в сфере ликвидации последствий пожаров и пожарной безопасности. Процитированы хотя бы один раз только 24 % статей сформированного массива, в том числе 39,7 % от общего количества цитирований составили так называемые самоцитирования.

Отмечается невысокая публикационная активность у научно-педагогических работников МЧС России и очень низкая их интеграция в международное научное сообщество. В Указе Президента России от 07.05.2012 г. № 559 «О мерах по реализации государственной политики в области образования и науки» в числе прочих поставлена задача обеспечить к 2015 г. увеличение доли публикаций российских ученых в общем количестве публикаций в мировых научных журналах, индексируемых в базе данных WoS, до 2,44 % [7]. Исследователям МЧС России следует публиковать свои работы не только в ведомственных журналах, но и активизировать их направление в международные издания.

Библиографический список

1. **Арефьев, П. Г.** Публикационная активность российской науки: основные проблемы и возможности роста / П.Г. Арефьев // Science Index-2012: материалы науч.-практ. конф. – URL: http://www.elibrary.ru/projects/science_index/conf/2012/.
2. **Comparison of PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar: Strengths and weaknesses** / M.E. Falagas, E.I. Pitsouni, G.A. Malietzis, G. Pappas // The FASEB J. – 2007. – Vol. 22, N 2. – P. 338–342
3. **Российский инновационный индекс** / под ред. Л.М. Гохберга, Нац. исслед. ун-т – Высш. шк. экономики (ВШЭ). – М., 2011. – 84 с.
4. **Научная электронная библиотека.** – URL: <http://www.elibrary.ru/>.
5. **Еременко Г.О.** Российский индекс научного цитирования и информационно-аналитическая система Science Index [Электронный ресурс] / Г.О. Еременко // Science Index-2012 : материалы науч.-практ. конф. – URL: http://www.elibrary.ru/projects/science_index/conf/2012/.
6. **Hirsch, J.E.** An index to quantify an individual's scientific research output / J. E. Hirsch // Proceedings of the National Acad. of Sciences. – 2005. – Vol. 102, N 46. – P. 16569–16572.
7. **О мерах по реализации государственной политики в области образования и науки:** Указ Президента России от 07.05.2012 г. № 599 // Рос. газета. – 2012. – 9 мая.

References

1. **Arefev, P. G.** Publikatsionnaya aktivnost rossiyskoy nauki: osnovnyie problemy i vozmozhnosti rosta / P.G. Arefev // Science Index-2012: materialyi nauch.-prakt. konf. – URL: http://www.elibrary.ru/projects/science_index/conf/2012/.
2. **Comparison of PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar: Strengths and weaknesses** / M.E. Falagas, E.I. Pitsouni, G.A. Malietzis, G. Pappas // The FASEB J. – 2007. – Vol. 22, N 2. – P. 338–342
3. **Rossiyskiy innovatsionnyi indeks** / pod red. L.M. Gohberga, Nats. issled. un-t – Vyssh. shk. ekonomiki (VShE). – М., 2011. – 84 s.
4. **Nauchnaya elektronnyaya biblioteka.** – URL: <http://www.elibrary.ru/>.
5. **Eremenko G.O.** Rossiyskiy indeks nauchnogo tsitirovaniya i informatsionno-analiticheskaya sistema Science Index [Elektronnyiy resurs] / G.O. Eremenko // Science Index-2012 : materialyi nauch.-prakt. konf. – URL: http://www.elibrary.ru/projects/science_index/conf/2012/.
6. **Hirsch, J.E.** An index to quantify an individual's scientific research output / J. E. Hirsch // Proceedings of the National Acad. of Sciences. – 2005. – Vol. 102, N 46. – P. 16569–16572.
7. **O merah po realizatsii gosudarstvennoy politiki v oblasti obrazovaniya i nauki:** Ukaz Prezidenta Rossii ot 07.05.2012 g. № 599 // Ros. gazeta. – 2012. – 9 maya.

SEARCH AND ANALYSIS OF DOMESTIC SCIENTIFIC ARTICLES IN THE FIELD OF FIRE-FIGHTING AND FIRE SAFETY

V.I. Evdokimov, Dr. Med. Sci. Prof.,
Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, EMERCOM of Russia,
Russia, Saint-Petersburg, e-mail: 9334616@mail.ru.

The algorithm of searching domestic articles in the database of the Scientific Electronic Library is shown. An array containing 3931 domestic publications in fire-fighting and fire safety has been formed. Annually in 2005–2013, the database of Russian Science Citation Index was replenished with (427 ± 66) articles. There were 2834 (70.1 %) articles containing the full text; among them, 1642 (41.8 %) were available to library users. In the structure of the array formed, 26.5 % of the articles dealt with general and complex problems of technical and applied sciences and branches of the national economy (heading 81.00.00 of State Categorization of scientific and technical information), including subheadings 81.92.00 "Fire Safety" and 81.93.00 "Security. Rescue services". Low citing of articles of the formed array is reported. Only 845 (24 %) articles were cited at least once, and the rest 3086 (76 %) articles were not cited at all, while self-citation index was 39.7 %. Some automated options are presented for analysis of publications in the field of fire-fighting and fire safety.

Keywords: fire, emergency, information retrieval, articles, libraries, scientific electronic library, Russian Science Citation Index, Science Index, Scopus, Web of Science.



ИНФОРМАЦИОННЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 614.841:311.313

АНАЛИЗ ОБСТАНОВКИ С ПОЖАРАМИ И ПОСЛЕДСТВИЙ ОТ НИХ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ЗА 3 МЕСЯЦА 2014 ГОДА

В отчете Департамента надзорной деятельности и профилактической работы приводятся статистические данные о количестве пожаров, их причинах и последствиях в Российской Федерации за 3 месяца 2014 года. Для сравнения дается информация об аналогичных происшествиях в 2013 году.

Ключевые слова: количество пожаров, количество погибших, причины пожаров, последствия пожаров.

За 3 месяца 2014 года оперативная обстановка с пожарами в Российской Федерации характеризовалась следующими основными показателями (по сравнению с аналогичным периодом прошлого года – АППГ):

- зарегистрировано 37079 пожаров (-3,4%);
- на пожарах погибло 3302 человека (-8,3%),

- в том числе 187 детей (+19,1%);
- травмы на пожарах получили 2956 человек (-7,7%);
- прямой материальный ущерб причинён в размере 3394,8 млн. рублей (-8,8%);
- зарегистрировано 59563 выезда пожарных подразделений на ликвидацию загораний (+61,4 %).

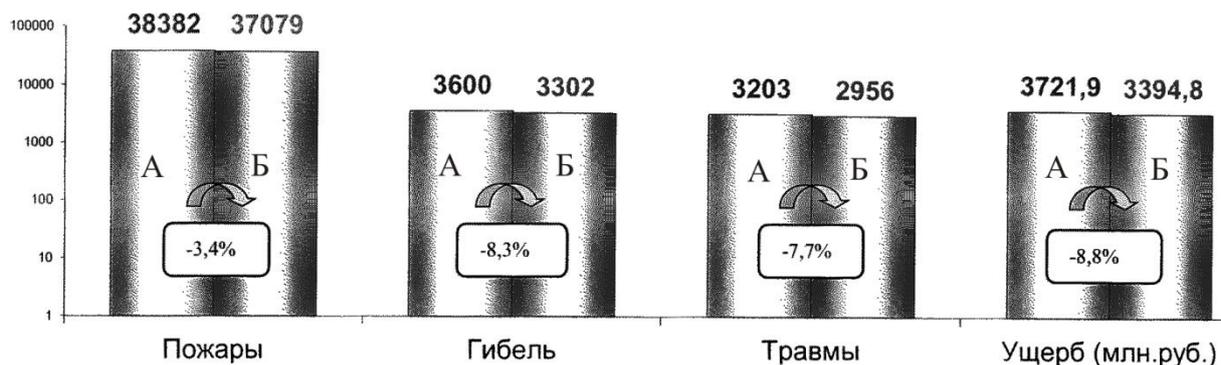


Рис. 1. Количество пожаров и их последствий в Российской Федерации:
А – 2013 г.; Б – 2014 г.

Подразделениями ГПС на пожарах спасено 24489 человек и материальных ценностей на сумму более 10,9 млрд. рублей.

Ежедневно в Российской Федерации происходило 412 пожаров, при которых погибало 37 че-

ловек и 33 человека получали травмы, огнем уничтожалось 82 строения, 20 единиц автотракторной техники. Ежедневный материальный ущерб составил 37,7 млн. рублей.

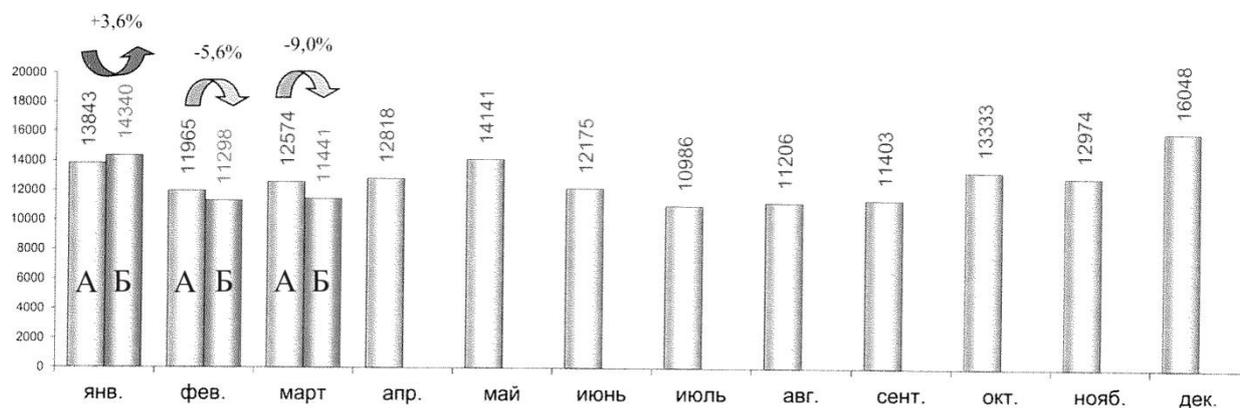


Рис. 2. Распределение количества пожаров по месяцам:
А – 2013 г.; Б – 2014 г.

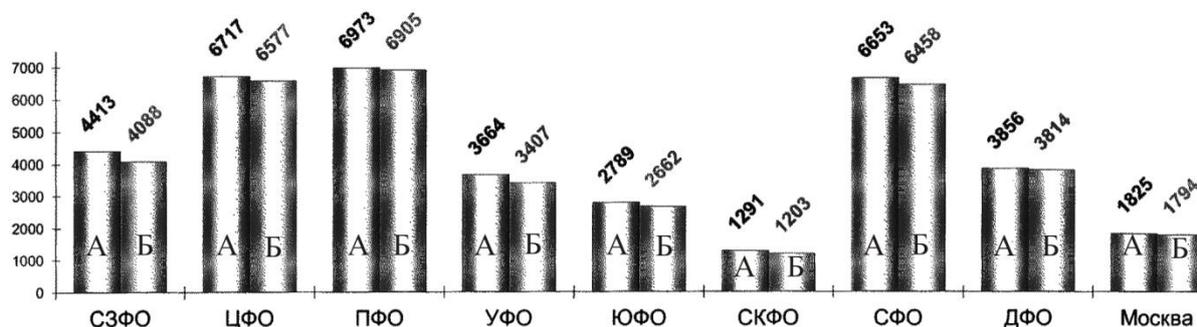


Рис. 3. Количество пожаров по федеральным округам:
А – 2013 г.; Б – 2014 г.

Динамика количества пожаров по федеральным округам в сравнении с АППГ: Северо-Западный –7,4%; Центральный –2,1%; Приволжский –1,0%; Уральский –7,0%; Южный –4,6%;

Северо-Кавказский –6,8%; Сибирский –2,9%; Дальневосточный –1,1%; г. Москва –1,7%.

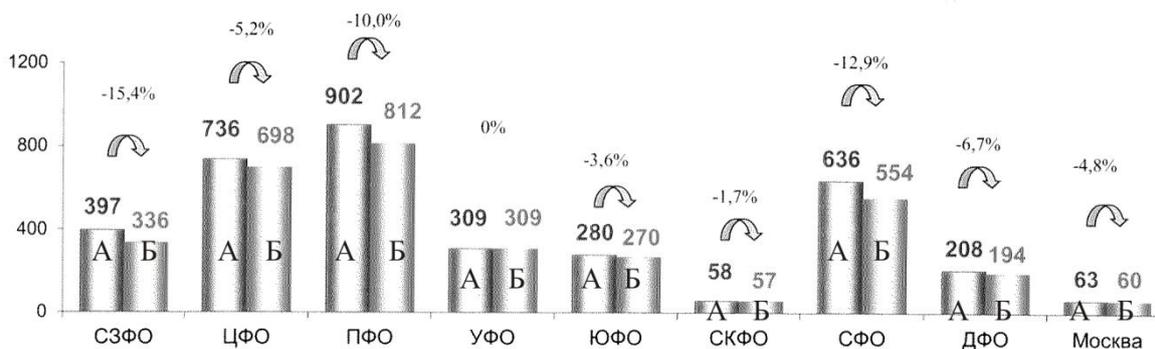


Рис. 4. Количество погибших людей по федеральным округам:
А – 2013 г.; Б – 2014 г.

Снижение количества погибших людей зарегистрировано в Северо-Западном федеральном округе на 15,4%, Центральном – на 5,2%, Приволж-

ском – на 10,0%, Южном – на 3,6%, Северо-Кавказском – на 1,7%, Сибирском – на 12,9%, Дальневосточном – на 6,7%, в г. Москве – на 4,8%.

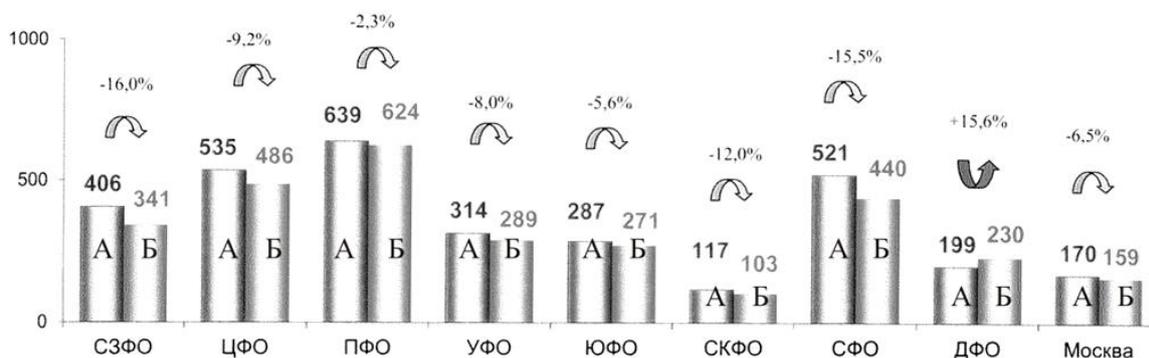


Рис. 5. Количество травмированных людей по федеральным округам: А – 2013 г.; Б – 2014 г.

Рост количества травмированных людей зарегистрирован в Дальневосточном федеральном округе.

Произошел одновременный рост количества пожаров (+12%); погибших (2,6%) и травмированных (22,7%) при них людей в Ульяновской области.

Зарегистрирован рост количества пожаров и погибших при них людей в Костромской (+0,6%;+23,5%), Орловской (+2,5%;+10%) и Самарской (+2,1%;+15,9%) областях.

Рост количества пожаров и травмированных при них людей зарегистрирован в Приморском крае (+2,8%;+12,7%) и Оренбургской области (+14,2%;+17%).

В 34 субъектах Российской Федерации зарегистрировано увеличение количества погибших при пожарах детей.

На пожарах больше погибало лиц мужского пола – 69,1% от общего количества погибших, женщин – 30,1% от общего количества.

Отмечено, что 41,8% погибших при пожарах людей находились в состоянии алкогольного (наркотического) опьянения. В городах этот процент составляет 41,8% от общего числа погибших, в сельской местности – 41,9%. Относительно аналогичного периода прошлого года количество погибших людей, находившихся в нетрезвом состоянии, снизилось на 25,7%, с 1859 человек до 1382.

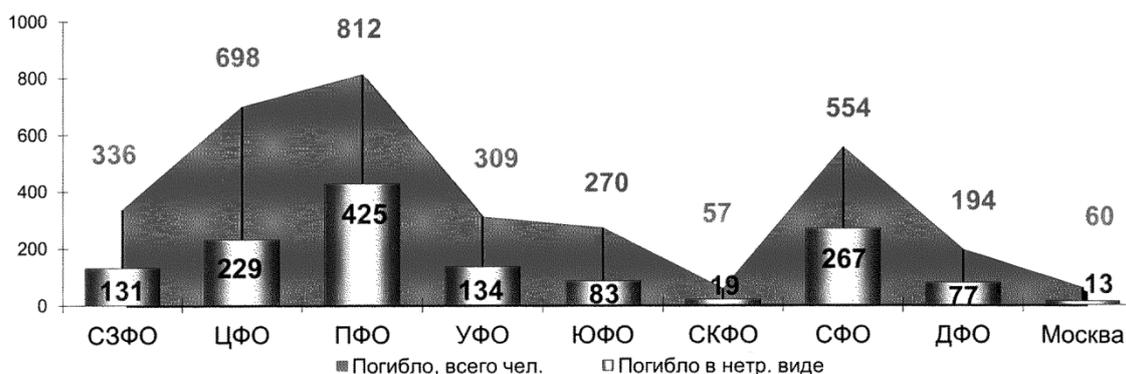


Рис. 6. Количество погибших при пожаре людей, в т.ч. в состоянии алкогольного опьянения (по федеральным округам)

Из диаграммы следует, что в Северо-Западном федеральном округе количество погибших в нетрезвом виде, от их общего количества, составляет 39%, в Центральном – 32,8%, Приволжском – 52,3%, Уральском – 43,4%, Южном – 30,7%, Северо-Кавказском – 33,3%, Сибирском – 48,2%, в Дальневосточном – 39,7% федеральных округов и в г. Москве – 21,7%.

За 3 месяца 2014 года наибольшее количество пожаров происходило по субботам – 5875 (15,8% от общего количества), наименьшее по вторникам – 4656 (12,6%).

Больше всего людей погибало по субботам – 549 человек (16,6% от общего количества), меньше всего по вторникам – 417 человек (12,6%).



Рис. 7. Распределение количества пожаров и погибших по дням недели

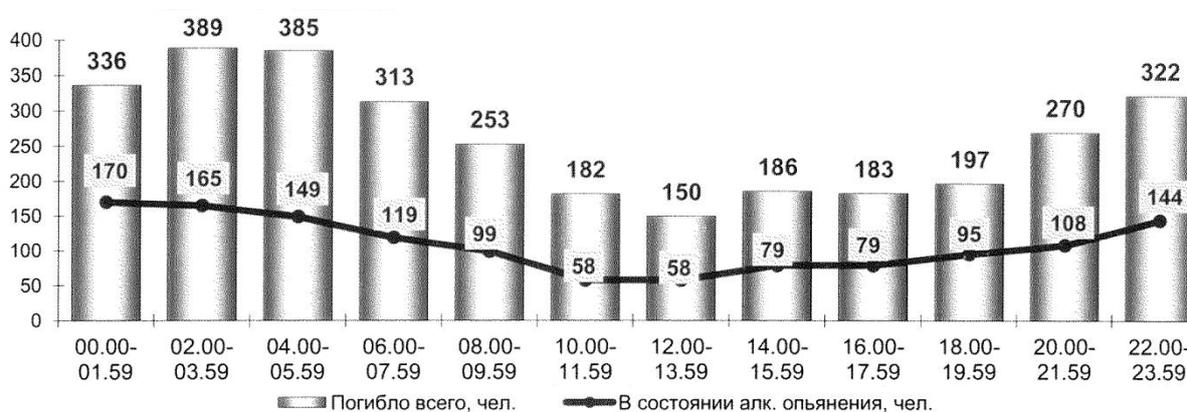


Рис. 8. Количество погибших людей по часам суток, в т.ч. в нетрезвом виде

Основное время суток, когда погибали люди – это ночные часы. Так, в период с 00.00 до 2.00 часов ночи погибло 336 человек. Всего же за ве-

чернее и ночное время (с 18.00 до 6.00 часов) погибло 1899 человек (57,5% от общего количества).

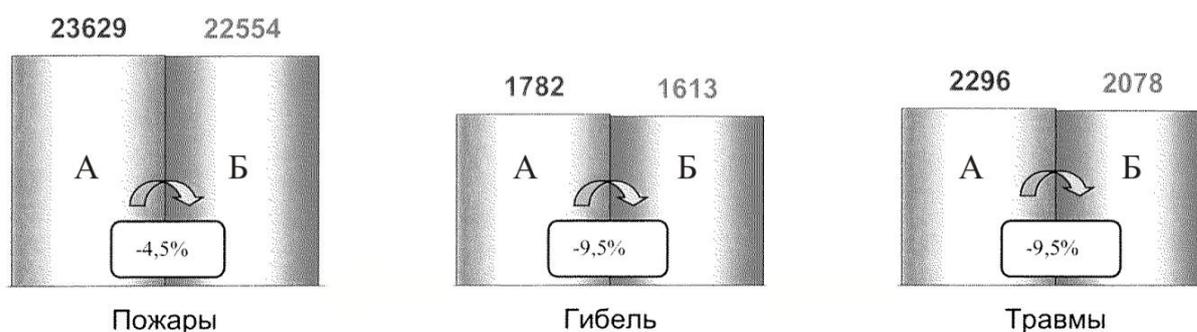


Рис. 9. Количество пожаров и их последствия в городах: А – 2013 г.; Б – 2014 г.

В городах Российской Федерации за 3 месяца 2014 года зарегистрировано:
 – 22554 пожара (-4,5% к АППГ);
 – погибло 1613 человек (-9,5%), в том числе 92 ребёнка (+53,3%);
 – получили травмы 2078 человек (-9,5%).

Прямой материальный ущерб причинён в размере 2248,6 млн. рублей (-10,2%). На города пришлось 60,8% от общего количества пожаров, 66,2% материального ущерба, 48,8% от общего числа погибших при пожарах людей и 70,3% травмированных.

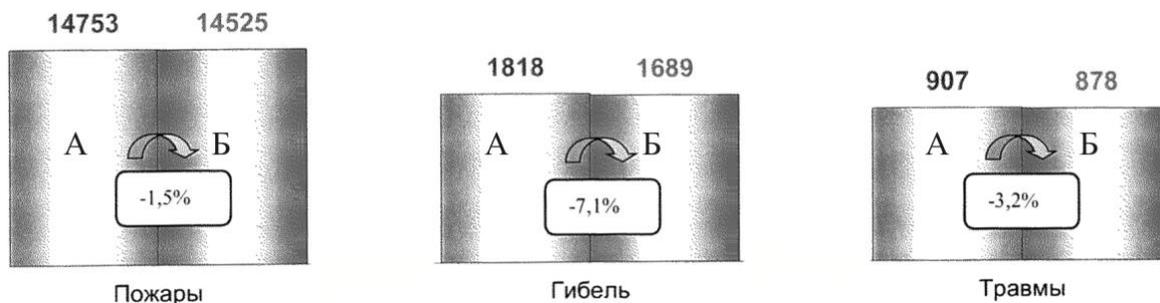


Рис. 10. Количество пожаров и их последствия в сельской местности: А – 2013 г.; Б – 2014 г.

В сельской местности Российской Федерации зарегистрировано:

- 14525 пожаров (–1,5% к АППГ);
- погибло 1689 человек (–7,1%), в том числе 95 детей (–2,1%);
- получили травмы 878 человек (–3,2%).

Прямой материальный ущерб причинён в размере 1146,2 млн. рублей (–5,9%).

На сельскую местность пришлось 39,2% от общего количества пожаров, 33,8% материального

ущерба, 51,2% от общего числа погибших при пожарах людей и 29,7% травмированных.

На предприятиях, охраняемых подразделениями ФПС МЧС России, зарегистрировано:

- 423 пожара (+12,5% к АППГ);
- погибших 50 человек (–16,7%);
- травмированных 35 человек (+59,1%).

Прямой материальный ущерб причинён в размере 484,1 млн. руб. (+431,7 млн. руб.).

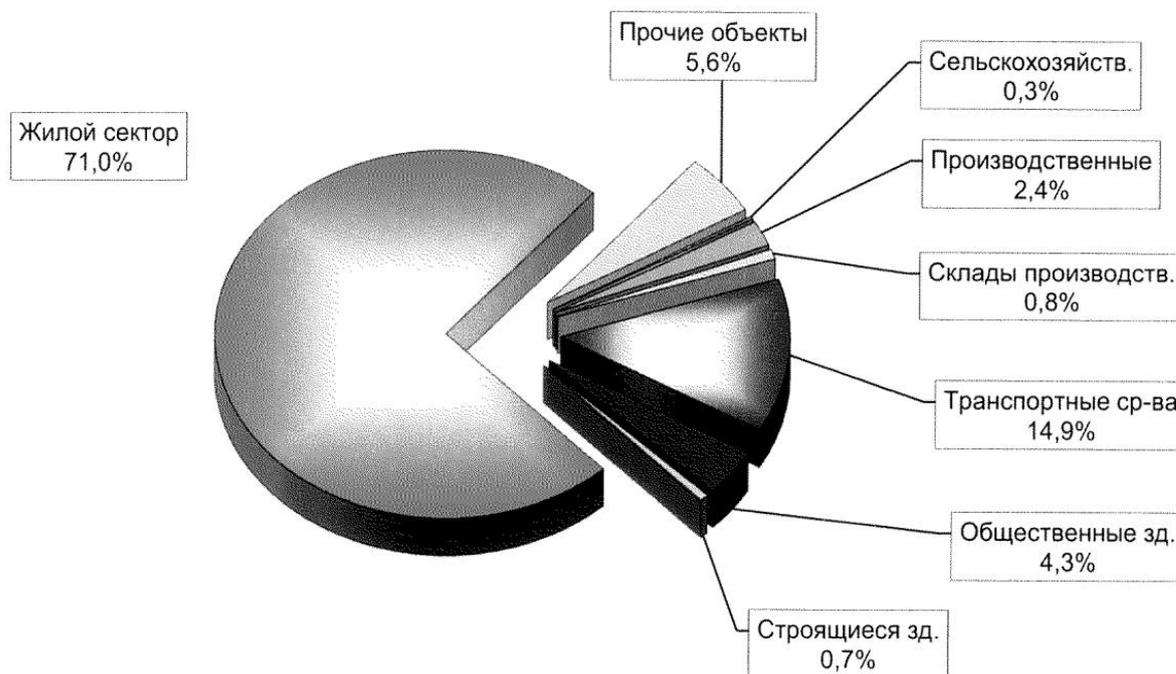


Рис. 11. Распределение количества пожаров по основным объектам

Наибольшее количество пожаров зарегистрировано в жилом секторе. Их доля от общего числа пожаров по России составила 71% (в 2013 г. – 71,4%). Гибель людей при пожарах в жилом секторе, от общего количества по стране, составила

92,7% (в 2013 г. – 92,4%), получивших травмы, – 79,5% (в 2013 г. – 80,2%).

По сравнению с АППГ снижение количества пожаров зарегистрировано на следующих основных видах объектов: в складских зданиях (–4,4%), зданиях сельскохозяйственного (–12,7%), обществен-

ного (-2,8%) и производственного (-3,7%) назначения, жилом секторе (-4,0%), на строящихся (-3,4%) и прочих объектах (-5,7%). Рост пожаров произошёл на транспортных средствах (+0,5%)

Чаще всего пожары происходили в жилых (спальных) комнатах – 8942 случая (24,1% от общего количества), на кухнях – 2657 (7,2%), в саунах – 2286 (6,2%) и на чердаках зданий – 1996 (5,4%). Наибольшее количество тел погибших лю-

дей было обнаружено в жилых комнатах – 2001 (60,6% от общего количества), на кухнях – 451 (13,6%) и на верандах, террасах – 166 (5,0%).

По сравнению с аналогичным периодом прошлого года зарегистрирован рост количества пожаров и погибших при них людей в чердачных (+1,0%;+5,9%) и подсобных помещениях (+2,9%;+76,3%), котельных (+13,8%;+23,5%) и на верандах, террасах (+11,4%;+10,7%).

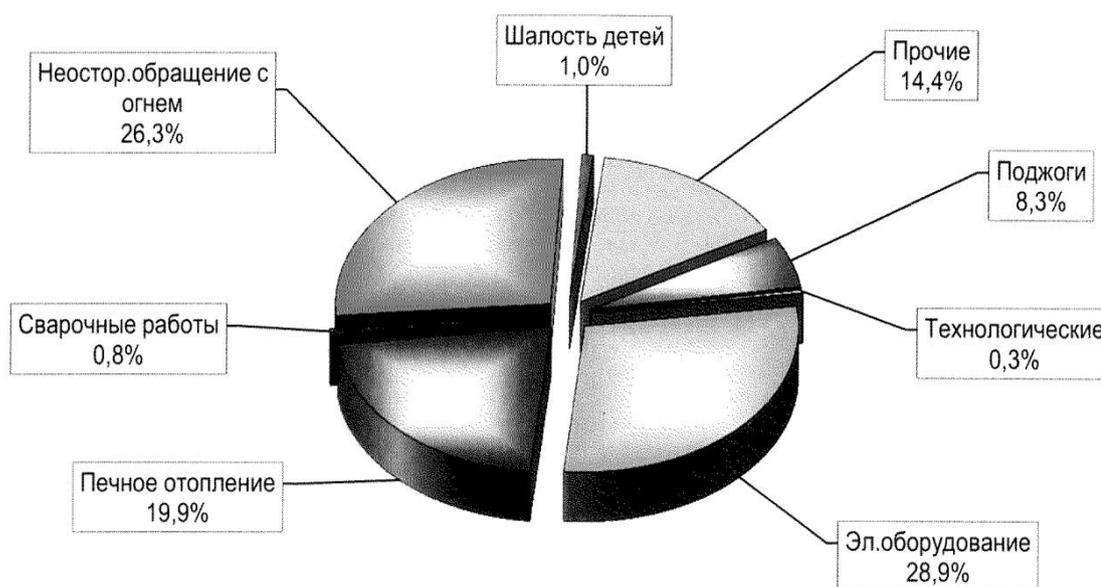


Рис. 12. Распределение количества пожаров по основным причинам

За 3 месяца 2014 года от неосторожного обращения с огнём произошло 26,3% (в 2013 г. – 28,5%) от общего количества пожаров, при которых погибло 1854 человека (56,1% от общего количества, в 2013 г. – 61,8%) и 1457 человек получили травмы (49,3% от общего количества, в 2013 г. – 51,5%). Значительное количество пожаров произошло по причинам нарушений правил устройства и эксплуатации электрооборудования (28,9% от общего количества) и нарушений правил эксплуатации печного отопления (19,9% от общего количества).

Зарегистрировано уменьшение количества пожаров по следующим основным причинам их возникновения: поджоги (-12,9%), неосторожное обращение с огнём (-10,9%), неосторожное обращение детей с огнём (-0,5%), неисправности производственного оборудования (-15,6%) и нарушения ПУиЭ электрооборудования (-3,0%). Рост произошел по причинам нарушения ППБ при проведении электрогазосварочных и огневых работ (+2,0%), нарушения ПУиЭ печного отопления (+0,6%) и по прочим причинам (+14,1%).

Вследствие воздействия продуктов горения погиб 2031 человек (61,5% от общего количества), от воздействия высокой температуры – 137 человек (4,1%). Причину гибели людей не удалось установить в 899 случаях (в 27,2% от общего количества погибших). Отмечается рост неустановленных причин гибели людей, по сравнению с АППГ, на 46,2% (с 615 до 899 случаев).

При пожарах погибло пенсионеров – 1114 человек (33,7% от общего количества погибших), безработных – 870 человек (26,3%), людей рабочих специальностей – 366 человек (11,1%), нетрудоспособных иждивенцев (инвалидов) – 221 человек (6,7%) и лиц без определенного места жительства (БОМЖ) – 137 человек (4,1%).

Детей школьного возраста погибло 45 человек (1,4% от общего количества погибших), детей до 6 лет – 138 человек (4,2%).

За 3 месяца 2014 года зарегистрировано 8 пожаров с групповой гибелью людей (пять и более человек), при которых погибло 43 человека (в 2013 г. произошло 9 пожаров, погибло 52 человека): в Северо-Западном федеральном округе (1 пожар, 5

человек погибло), Центральном (2 пожара, 11 погибших), Приволжском (3 пожара, 15 погибших), Уральском (2 пожара, 12 погибших).

За 3 месяца 2014 года в результате эффективной работы систем противопожарной защиты на объектах с массовым пребыванием людей, в том числе образования, здравоохранения и социальной сферы предотвращена гибель 2957 человек.

Относительные показатели, характеризующие оперативную обстановку с пожарами за 3 месяца 2014 года по Российской Федерации, следующие:

- количество пожаров, приходящихся на 100 тыс. населения – 25,81 (за АППГ – 26,75);
- средний ущерб, приходящийся на один пожар – 91,56 тыс. рублей (96,97);
- количество погибших при пожарах людей на 100 тыс. населения – 2,30 (2,51);
- количество травмированных при пожарах людей на 100 тыс. населения – 2,06 (2,23).

В 16 субъектах Российской Федерации количество пожаров, приходящихся на 100 тыс. населения, превысили (более чем на 50%) аналогичные общероссийские показатели в: республиках Алтай (на 55,61%) и Карелия (58,80%), Забайкальском (75,19%), Камчатском (72,01%), Красноярском (64,07%), Приморском (218,80%),

Хабаровском (157,36%) краях, Амурской (119,22%), Архангельской (51,78%), Калининградской (66,95%), Ленинградской (61,67%), Магаданской (88,17%), Новгородской (99,82%), Псковской

(54,62%), Сахалинской (72,81%) областях и в Еврейской автономной области (161,53%).

В 17 субъектах Российской Федерации число погибших при пожарах людей, приходящихся на 100 тыс. населения, превысили (более чем на 50%) аналогичные общероссийские показатели в: республиках Коми (84,60%) и Мордовия (55,36%), Приморском крае (61,60%), Амурской (71,62%), Архангельской (62,85%), Брянской (57,57%), Вологодской (60,42%), Кировской (65,95%), Курганской (108,33%), Магаданской (102,62%), Новгородской (117,70%), Пензенской (56,69%), Псковской (131,94%), Смоленской (70,82%), Тверской (11,29%) областях, Ненецком автономном округе (304,50%) и в Еврейской автономной области (78,76%).

В 19 субъектах Российской Федерации число травмированных при пожарах людей, приходящихся на 100 тыс. населения, превысили (более чем на 50%) аналогичные общероссийские показатели в: республике Карелия (на 68,54%), Приморском (100,57%) и Хабаровском (88,62%) краях, Амурской (109,68%), Архангельской (60,77%), Кировской (107,62%), Курганской (71,77%), Магаданской (61,67%), Мурманской (51,28%), Новгородской (188,91%), Новосибирской (77,95%), Омской (62,51%), Псковской (11,66%), Сахалинской (107,86%), Ярославской (121,65%) областях, Ненецком (238,89%), Ямало-Ненецком (116,14%), Чукотском (380,68%) автономных округах и в Еврейской автономной области (71,16%).

ANALYSIS OF THE SITUATION WITH FIRES AND CONSEQUENCES FROM THEM ON THE TERRITORY OF THE RUSSIAN FEDERATION FOR THE FIRST QUARTER OF 2014

In the report of Department of supervising activity and scheduled maintenance statistical data on the number of fires, their reasons and consequences are provided in the Russian Federation in 3 months 2014. For comparison information on similar incidents in 2013 is given.

Keywords: *number of fires, number of victims, reasons of fires, consequences of fires.*