

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 620:614.842

К ВОПРОСУ ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ГОРЕНИЯ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

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

В статье рассмотрены вопросы особенностей возникновения и развития пожаров с физико-химических позиций дисперсного состояния вещества. Представлены особенности горения пылевоздушных смесей.

Ключевые слова: дисперсная система, поверхностная энергия, механизм горения, тушение

Введение. Процесс горения и образующиеся при этом продукты применяются человечеством многие тысячи лет. До сих пор около 90 % энергии, потребляемой на планете, обеспечено этими процессами, разнообразными и отличающимися природой и агрегатным состоянием горючих материалов, механизмами протекания и режимами осуществления, интенсивностью и характером реализации и др. Понимание механизмов возникновения и последующего развития горения веществ и материалов необходимо для прогнозирования и управления этими процессами, проведения профилактических мероприятий, выбора и оценки эффективности традиционных и инновационных огнетушащих составов.

Среди всего многообразия процессов горения важное место занимает горение дисперсных материалов. Вещества и материалы в дисперсном состоянии часто встречаются в природе (пыль, порошки, аэрозоли и др.) и широко применяются в различных областях производственной деятельности: горнодобывающем производстве, металлургии,

производстве строительных материалов, пищевой промышленности и т.д.

Диспергирование твердых тел представляет собой один из наиболее распространенных много-тоннажных технологических процессов. Миллиарды тонн сырья и продуктов получают в свобододисперсном состоянии. В качестве примеров можно привести дробление и измельчение горных пород, добычу каменного угля, проходку шахт и тоннелей в скальных грунтах, производство цемента и сыпучих материалов, процессы измельчения зерна, минеральных солей и др. В последние годы резко возросло производство самых различных порошков, паст, пористых материалов, пленок, аэрозолей и т.д. [1]. Наконец, стоит отметить неуклонный и стремительный рост производства разнообразных наноматериалов, которые тоже являются дисперсными материалами [2].

Понятие дисперсной системы включает чрезвычайно широкий круг объектов – от пыли на столе или горсти песка до клубов дыма или облака в небе. Известная в материаловедении формула «трех С» – «состав – структура – свойства» объясняет существенное различие свойств обычных материалов и материалов в дисперсном состоянии. Это, естественно, касается и их горючих свойств. Известно, что измельчение горючих материалов интенсифицирует процесс их горения. Например, если 0,5 кг каменного угля в массивном состоянии сгорает в течение нескольких минут, то тоже количество каменноугольной пыли сгорает уже за доли секунды [3]. Многие металлы – алюминий, магний, титан, железо в состоянии пудры способны к самовозгоранию.

1. Термодинамическое обоснование влияния дисперсности вещества на его пожаровзрывоопасность. Пожарная статистика свидетельствует

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;
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

ет, что на предприятиях угледобывающей, химической, мукомольной промышленности, т.е. там, где образуются пылевидные горючие материалы [3, 4], ежегодно происходит большое количество пожаров и взрывов. По принятой в России классификации пожаровзрывоопасных веществ и материалов пыли (диспергированные твердые вещества) выделены в особую группу [4]. К ним применяют те же показатели, что для газов и жидкостей: концентрационные пределы воспламенения, минимальное взрывоопасное содержание кислорода и др. Установленным фактом является то, что твердые вещества при повышении степени дисперсности изменяют свои характеристики, в том числе такие термодинамические характеристики, как температуры фазовых переходов (плавления, испарения). Зависимость температуры фазовых переходов от степени дисперсности выражается уравнением [1, 4]:

$$\frac{T_{\infty} - T_D}{T_{\infty}} = \frac{2\sigma V_m}{\Delta H_{\phi.n.} r}, \quad (1)$$

где T_{∞} и T_D – температуры фазового перехода в «обычном» и дисперсном состоянии; σ – поверхностное натяжение вещества; V_m – мольный объем вещества; $\Delta H_{\phi.n.}$ – энтальпия фазового перехода; r – размер (радиус) частиц дисперсной фазы.

Из (1) следует, что с повышением дисперсности вещества температура его плавления понижается. Такое понижение может достигать сотен градусов, и оно тем значительнее, чем больше поверхностное натяжение вещества σ . Важно иметь в виду, что σ не остается постоянным, а зависит от дисперсности материала. Кроме того, следует помнить, что измерить поверхностное натяжение твердых тел невозможно, его величину можно только рассчитать [1, 5].

Дисперсность вещества влияет не только на температуру плавления $T_{пл}$, но, естественно, и на температуру воспламенения $T_{вп}$ вещества. Для того чтобы осмыслить влияние дисперсности на горючие свойства твердого вещества, вспомним основные понятия диспергированного (измельченного) состояния. Известно, что дисперсность (раздробленность) характеризуется величиной, обратной размеру (диаметру) d частиц [1, 4]:

$$D = \frac{1}{d}. \quad (2)$$

С дисперсностью вещества тесно связана его удельная поверхность, которая определяется как отношение площади поверхности всех частиц S_{Σ} к их объему V :

$$S_{y\phi} = \frac{S_{\Sigma}}{V}. \quad (3)$$

Удельная поверхность зависит от формы частиц и может быть определена через степень дисперсности по формуле:

$$S_{y\phi} = KD, \quad (4)$$

где K – коэффициент, зависящий от геометрической формы частиц.

Увеличение удельной поверхности вещества при повышении степени дисперсности приводит к возрастанию числа атомов или молекул, находящихся на поверхности частиц дисперсной фазы. Это, в свою очередь, приводит к возрастанию поверхностной энергии – избыточной потенциальной энергии поверхностных атомов или молекул. Поверхностная энергия характеризуется упомянутым выше поверхностным (межфазным) натяжением σ .

Поверхностное натяжение представляет собой частную производную от любого термодинамического потенциала по площади межфазной поверхности при постоянстве температуры и других соответствующих параметров системы. В реальных условиях проще всего обеспечить постоянство температуры, давления и числа молей в системе и поэтому поверхностное натяжение чаще всего выражают через величину энергии Гиббса G :

$$\sigma = \left(\frac{\partial G}{\partial S_{нов}} \right)_{T, P, n_i}, \quad (5)$$

где $S_{нов}$ – площадь поверхности раздела фаз.

В интегральной форме энергия Гиббса межфазной поверхности есть произведение поверхностного натяжения на площадь поверхности:

$$G = \sigma S_{нов}. \quad (6)$$

Из уравнения (6) видно, что энергия Гиббса системы растет как за счет увеличения поверхностного натяжения, так и, и это главное, из-за увеличения площади межфазной поверхности. Известно, что одним из важнейших принципов природы является стремление потенциальной энергии к минимуму. Так, механическое движение очень часто обусловлено убылью гравитационного потенциала. В химических реакциях есть свой потенциал, который убывает в самопроизвольно протекающих процессах. Таким потенциалом, являющимся движущей силой химических процессов, является изобарно-изотермический потенциал, или энергия Гиббса G . Как известно, убыль этого потенциала не зависит от пути процесса, т.е. от «химических траекторий», а определяется только начальным (исходным) и конечным состоянием системы [5]. Условием принципиальной осуществимости процесса, т.е. возможности его самопроизвольного протекания, является выполнение неравенства:

$$\Delta G < 0. \quad (7)$$

При протекании химических реакций взаимосвязь изменения энергии Гиббса с константой равновесия K_p выражается уравнением изотермы Вант-Гоффа:

$$\Delta G = -RT \ln K_p, \quad (8)$$

где R – универсальная газовая постоянная; T – абсолютная температура.

Любая реакция может самопроизвольно протекать только в направлении, приближающем систему к состоянию равновесия. Если в системе наступило равновесие, то выполняется условие:

$$\Delta G = 0. \quad (9)$$

Таким образом, мерой термодинамической неустойчивости системы является величина ΔG . Величина ΔG является движущей силой процесса. Чем больше (по абсолютной величине) ΔG , тем дальше система от состояния химического равновесия и тем более она реакционноспособна.

Приращение энергии Гиббса $\Delta G_d = dG_d$, вызванное изменением дисперсности, можно получить из объединенного уравнения первого и второго начал термодинамики [1].

$$dG_d = VdP - SdT, \quad (10)$$

где V – объем системы; P – давление; S – энтропия системы.

При изотермических условиях для одного моля вещества $V = V_m$ (молярный объем) имеем

$$dG_d = V_m dP \text{ или } \Delta G_d = V_m \Delta P \quad (11)$$

С учетом отношения Лапласа [1]

$$\Delta P = \sigma \frac{dS_{нов}}{dV} \quad (12)$$

можно получить выражение:

$$\Delta G_d = \sigma V_m \frac{dS_{нов}}{dV}. \quad (13)$$

Если межфазная поверхность имеет сферическую форму, то

$$\frac{dS_{нов}}{dV} = \frac{2}{r}, \quad (14)$$

где r – радиус кривизны поверхности (радиус сферической частицы).

Подставляя (14) в (13) получаем уравнение:

$$\Delta G_d = \frac{2 \sigma V_m}{r}. \quad (15)$$

Уравнение (15) указывает на то, что с уменьшением размера частиц, т.е. с повышением степени дисперсности, реакционная способность вещества возрастает. Это находится в полном соответствии с представлениями о возможных способах механоактивирования веществ и материалов.

Экспериментальные данные по механоактивированию убедительно подтверждают, что степень дисперсности материалов оказывает существенное влияние на их горючие свойства [6 - 8]. При этом не стоит забывать, что термодинамика не описывает протекание процессов во времени, а говорит только о потенциальной возможности протекания химических реакций, не рассматривая механизма процессов. Но и при таких ограничениях термодинамиче-

ский метод является одним из самых плодотворных методов теоретической химии.

2. Кинетика процессов горения. Все, что связано со скоростями реакций, рассматривается в рамках химической кинетики. Математические модели химической кинетики дают возможности устанавливать зависимость скорости химических реакций от параметров их протекания – температуры, концентраций (давлений) реагентов и т.д.

Скорости реакций горения могут быть описаны уравнениями вида [9-10]:

$$V = K_0 P_g^m P_{ок}^n e^{-E_a/RT}, \quad (16)$$

где K_0 – предэкспоненциальный множитель, зависящий от стерического γ и частотного z_0 факторов ($K_0 = \gamma z_0$); $P_g, P_{ок}$ – давления (концентрации) горючего и окислителя; m, n – частные порядки реакции по горючему веществу и окислителю; E_a – энергия активации реакции.

Первостепенное значение имеет физико-химическая обоснованность кинетической модели процесса горения. Не вызывает доверия уравнение, если в показателе степени давления одного из реагентов будет стоять цифра 10 или если энергия активации превышает 50 кДж/моль.

Разработка теоретических моделей любых химических реакций, в том числе и реакций горения, невозможна без раскрытия механизма их протекания. В химической кинетике наиболее распространенным остается понимание механизма реакции как совокупности стадий. Очень важным является установление лимитирующей (контролирующей) стадии химического процесса. Именно установление абсолютного деления режимов горения на кинетический и диффузионный. Исключительное разнообразие процессов горения и трудности экспериментального исследования этих процессов до сих пор делают весьма актуальным вопрос об адекватности теоретических моделей и экспериментальных результатов [11].

Известно, что для кинетического описания процесса горения такого простого топлива, как водород, необходим механизм, состоящий из около 40 элементарных реакций. В ряде случаев суммарный процесс горения веществ включает несколько тысяч элементарных реакций. Независимо от специфики черт различных кинетических задач механизмы реакций имеют ряд характерных свойств. Все это заставляет взглянуть на дисперсные материалы как на очень интересные объекты научного исследования.

3. Особенности горения аэрозолей. К дисперсным материалам относится широкий круг объектов: от аэрозолей, которые приближаются к газозвудушным смесям, до компактных порошков, которые во многом схожи с пористыми твердыми телами. Об исключительно широком распространении дисперсных материалов в природе и неисчерпаемых возможностях их практического применения можно

написать не одну статью, а целую книгу, такую, например, как книга академика И.В. Петрянова «Вездесущие аэрозоли». Однако не менее важным является то, что дисперсные материалы являются, как уже говорилось выше, интересными объектами научного исследования, в частности изучения механизма горения.

К настоящему моменту, накоплен огромный экспериментальный материал по горению различных дисперсных материалов от аэрозолей до спрессованных порошков, горение которых происходит по механизму горения твердых тел [10, 12-16].

Первым шагом на пути моделирования горения аэрозолей является предположение, что горящая струя аэрозоля представляет собой просто ансамбль отдельных не взаимодействующих горящих капель. Капли образуются из струи в виде плотного облака. Однако неизвестно, как эти капли различных размеров взаимодействуют друг с другом и с окружающим турбулентным потоком газов [17]. Для ответа на эти вопросы необходимо разделить весь процесс горения на стадии образования ансамбля аэрозольных частиц, движения капель, испарения капель и собственно горения.

Аэрозоли образуются при разрушении струи топлива (поступающей из впускного отверстия) за счет поперечных сил сдвига во время впрыска в камеру сгорания. Этот процесс аналогичен образованию турбулентных структур в слоях с поперечным градиентом скорости. Жидкие фрагменты, которые еще не имеют сферической формы, попадают в поток окислителя и продуктов сгорания (обычно турбулентный и с рециркуляцией). Распределение диаметров капель в ансамбле аэрозоля не однородно. Оказалось весьма полезно характеризовать распределение диаметров различными нестационарными функциями распределения по размерам, моменты которых изменяются со временем. Вид функции распределения и ее последующая эволюция определяются главным образом природой инжектируемого топлива и свойствами потока в камере сгорания (например, граничными условиями).

Испарение капель и диффузия топлива в газовую фазу приводят к образованию горючей смеси, которая воспламеняется при достаточно высокой температуре. Если рассматривать разбавленный аэрозоль (когда расстояние между каплями велико), то процессы в течение воспламенения и горения можно понять, исследуя поведение отдельных капель. В плотных аэрозолях капли расположены слишком близко к другу для того, чтобы можно было пренебречь их взаимодействием.

Горение такой системы происходит в криогенных ракетных двигателях. Последние весьма эффективны, что очень важно для запуска космических спутников связи.

Горение аэрозоля является процессом сложного взаимодействия многих самых разных процессов, таких как прогрев капель, испарение, воспламенение, горение, взаимодействие различных капель и т.д.

Механизм горения аэрозолей можно рассмотреть в рамках концепции суперпозиции ламинарных пламен с той лишь разницей, что очаги ламинарных пламен происходят от пламен, сформированных вокруг капель. Следует отметить, что очаги ламинарного пламени предварительно не перемешанной смеси характеризуются такими параметрами, как соотношение компонентов смеси и скорость деформации. Скорость деформации является мерой скорости противотока. По аналогии очаги ламинарных пламен для капли можно охарактеризовать соотношением компонентов смеси и скоростью капли относительно окружающего газа.

Большой интерес представляют особенности горения пылевоздушных смесей (ПВС), обусловленных уникальной способностью пыли присутствовать всегда и везде [16, 18]. Исследования процесса горения ПВС не привели, к сожалению, к полному пониманию механизма этого процесса.

При горении газовых смесей возникает сплошной фронт пламени. Для аэрозолей, в отличие от газовых смесей, определяется только величина нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПП). К особенностям горения ПВС относится зависимость НКПП от степени дисперсности частиц пыли [10, 15]. Существует предположение, что частицы размером меньше 10 мкм сгорают в кинетическом режиме, крупные же частицы не успевают испариться в период прогрева, что обуславливает диффузионный режим горения.

Подтверждением исключительного разнообразия аэрозолей является детально изучаемые в последние годы природные горючие образования, получившие названия «стационарные аэровзвеси». Отличительной особенностью этих горючих аэрозолей является то, что они не оседают в виде отложений под действием силы тяжести.

С горечью приходится констатировать, что к настоящему моменту механизм распространения пламени в аэрозолях, как и предельные характеристики этого процесса, недостаточно изучены [10].

4. Особенности горения порошковых материалов. Не менее важным в практическом плане и интересным в научном аспекте является другой вид горения дисперсных материалов - горение порошков.

Реагирующие вещества разной природы выделяют теплоту при химическом взаимодействии в твердой фазе. К таким веществам относятся смесевые твердые топлива и даже уголь в случае его высокой пористости. Типичные составы смесевых твердых топлив (СТТ) содержат по массе 70-80% твердого окислителя (обычно это перхлорат аммония NH_4ClO_4) и 15-17% горючего (бутадиеновый каучук, фенолоформальдегидная смола). Для повышения теплоты сгорания в СТТ добавляют металлы (Al, Mg, Be, Zn и др.) в порошкообразном состоянии, а также пластификаторы, катализаторы и различные технологические добавки. Горение СТТ представляет собой сложный многостадийный процесс [16]. Одной из наиболее разработанных мате-

матических моделей горения СТТ является так называемая твердофазная модель, которая адекватно описывает такое необычное явление, как твердопламенное горение (ТПГ) [18]. В строгом понимании ТПГ – это автоволновой химический процесс в системе твердофазных реагентов (например, в смесях порошков), приводящий к образованию твердофазных промежуточных и конечных продуктов. Это чисто твердофазный процесс, не сопровождающийся образованием жидких и газообразных фаз. Суть этого процесса состоит в перемещении по объему СТТ волны твердопламенного горения. Волна твердопламенного горения представляет собой самоорганизованный комплекс, в котором локализованная в слое химическая реакция, перемещаясь в пространстве реагентов, переводит их в продукты горения [18]. Для обеспечения высокой скорости реагирования, необходимой для горения, используются реагенты в мелкодисперсном состоянии. В смесях с крупными частицами реагентов осуществить ТПГ достаточно сложно.

Большой интерес вызывает не только сам процесс ТПГ, но и его продукты, которые представляют собой широкий круг химических соединений: интерметаллиды, оксиды, карбиды, силициды, бориды, нитриды и др. По целому ряду причин синтез этих материалов в режиме ТПГ представляется весьма привлекательным. На основе ТПГ был соз-

дан новый метод получения тугоплавких соединений – самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС). Твердопламенное горение – важнейшая стадия СВС, она осуществляет главное – первичные химические связи между реагентами.

В плане практического использования ТПГ несомненный интерес представляют не только приемы управления скоростью, температурой и полнотой твердопламенного горения, но и возможность управлять процессами, происходящими за волной горения с целью получения твердых продуктов заданного состава.

Многие продукты ТПГ находят широкое практическое применение. Это различные порошки негорючих материалов, различные неорганические соединения, керамика, огнеупоры и др.

Выводы. И все же, несмотря на всю неоспоримую важность практического использования горения дисперсных материалов, а это и горение пороха, и всевозможных взрывчатых веществ, и СТТ, получение твердых негорючих материалов и т.д. не менее важное значение имеет использование дисперсных материалов в качестве объектов научного изучения процессов горения.

Материалы в дисперсном состоянии – материалы в необычном, экстремальном состоянии. А в науке есть замечательный принцип – понимать явление через его крайности.

Библиографический список

1. **Фролов, Ю.Г.** Курс коллоидной химии (Поверхностные явления и дисперсные системы) / Ю.Г. Фролов. – М.: Химия, 1982. – 400 с.
2. **Гусев, А.И.** Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А.И. Гусев. – М.: Физмат, 2005. – 416 с.
3. **Демидов, П.Г.** Горение и свойства горючих веществ / П.Г. Демидов, В.А. Шандыба, П.П. Щеглов. – М.: Химия, 1981. – 272 с.
4. **Марков, В.Ф.** Физико-химические основы развития и тушения пожаров / В.Ф. Марков [и др.]. – Екатеринбург: УрО РАН, 2009. – 274 с.
5. **Джейкок М., Парфит Дж.** Химия поверхностей раздела фаз: пер. с англ. / М.Джейкок, Дж. Парфит. – М.: Мир, 1984. – 269 с.
6. **Смоляков, В.К.** Горение механоактивированных гетерогенных систем / В.К. Смоляков // Физика горения и взрыва. – 2005. – Т. 41 – N 3. – С. 90-97.
7. **Смоляков, В.К.** Тепловой взрыв в механоактивированных гетерогенных системах / В.К. Смоляков, О.В. Лапшин // Физика горения и взрыва. – 2011. – Т. 47. – N 3. – С. 74-83.
8. **Рогачев, А.С., Мукосьян, А.С.** Горение гетерогенных наноструктурных систем (обзор) / А.С. Рогачев, А.С. Мукосьян // Физика горения и взрыва. – 2010. – Т. 46. – N 3. – С. 3-30.
9. **Баратов, А.Н.** Горение – Пожар – Взрыв – Безопасность / А.Н. Баратов. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2003. – 364 с.
10. **Корольченко, А.Я.** Процессы горения и взрыва / А.Я. Корольченко. – М.: Пожнаука, 2007. – 266 с.
11. **Мержанов, А.Г., Быков, В.И.** Об адекватности экспериментальных и теоретических моделей процессов горения / А.Г. Мержанов, В.И. Быков // Физика горения и взрыва. – 2010. – Т. 46. – N 5. – С. 65-70.
12. **Корольченко, А.Я.** Пожаровзрывобезопасность промышленной пыли / А.Я. Корольченко. – М.: Химия, 1986. – 213 с.
13. **Шебеко, Ю.Н.** Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов / Ю.Н. Шебеко [и др.] // Пожарная безопасность. – 2012. – N 2. – С. 22-31.

References

1. **Frolov, Yu.G.** Kurs kolloidnoy himii (Poverhnostnyie yavleniya i dispersnyie sistemy) / Yu.G. Frolov. – M.: Himiya, 1982. – 400 s.
2. **Gusev, A.I.** Nanomaterialyi, nano-strukturyi, nanotekhnologii / A.I. Gusev. – M.: Fizmat, 2005. – 416 s.
3. **Demidov, P.G.** Gorenje i svoystva goryuchih veschestv / P.G. Demidov, V.A. Shandyiba, P.P. Scheglov. – M.: Himiya, 1981. – 272 s.
4. **Markov, V.F.** Fiziko-himicheskie osnovyi razvitiya i tusheniya pozharov / V.F. Markov [i dr.]. – Ekaterinburg: UrO RAN, 2009. – 274 s.
5. **Dzheykok M., Parfit Dzh.** Himiya poverhnostey razdela faz: per. s angl. / M.Dzheykok, Dzh. Parfit. – M.: Mir, 1984. – 269 s.
6. **Smolyakov, V.K.** Gorenje mehano-aktivirovannyih geterogennyih sis-tem / V.K. Smolyakov // Fizika gore-niya i vzryiva. – 2005. – T. 41 – N 3. – S. 90-97.
7. **Smolyakov, V.K.** Teplovoy vzryiv v mehanoaktivirovanyih geterogennyih sistemah / V.K. Smolyakov, O.V. Lap-shin // Fizika gorenija i vzryiva. – 2011. – T. 47. – N 3. – S. 74-83.
8. **Rogachev, A.S., Mukosyan, A.S.** Gorenje geterogennyih nanostruk-tumyih sistem (obzor) / A.S. Roga-chev, A.S. Mukosyan // Fizika gore-niya i vzryiva. – 2010. – T. 46. – N 3. – S. 3-30.
9. **Baratov, A.N.** Gorenje – Pozhar – Vzryiv – Bezopasnost / A.N. Baratov. – M.: FGU VNIPO MChS Rossii, 2003. – 364 s.
10. **Korolchenko, A.Ya.** Protsessyi gorenija i vzryiva / A.Ya. Korolchen-ko. – M.: Pozhnauka, 2007. – 266 s.
11. **Merzhanov, A.G., Byikov, V.I.** Ob adekvatnosti eksperimentalnyih i teoreticheskikh modeley protsessov gorenija / A.G. Merzhanov, V.I. Byikov // Fizika gorenija i vzryiva. – 2010. – T. 46. – N 5. – S. 65-70.
12. **Korolchenko, A.Ya.** Pozharovzryivobezopasnost promyshlennoy pyili / A.Ya. Korolchenko. – M.: Hi-miya, 1986. – 213 s.
13. **Shebeko, Yu.N.** Pozharovzryivobe-zopasnost veschestv i materialov / Yu.N. Shebeko [i dr.] // Pozharnaya bezopasnost. –

14. **Климкин, В.И., Копылов, Н.П.** Обзор направлений научного обеспечения пожарной безопасности / В.И. Климкин, Н.П. Копылов // Пожарная безопасность. – 2013. – N 1. – С. 74-88.

15. **Сидоров, А.Е., Шевчук, В.Г.** Ламинарное пламя в мелкодисперсных пылях / А.Е. Сидоров, В.Г. Шевчук // Физика горения и взрыва. – 2011. – Т. 47. – N 5. – С. 24-28.

16. **Алексеев, Б.В., Гришин, А.М.** Физическая газодинамика реагирующих сред / Б.В. Алексеев, А.М. Гришин. – М.: Высшая школа, 1985. – 464 с.

17. **Варнатц, Ю.** Горение. Физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ / Ю. Варнатц, У. Маас, Р. Диббл. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 652 с.

18. **Мержанов, А.Г., Мукосьян, А.С.** Твердопламенное горение / А.Г. Мержанов, А.С. Мукосьян. – М.: ТОРУС ПРЕСС, 2007. – 336 с.

2012. – N 2. – С. 22-31.

14. **Klimkin, V.I., Kopylov, N.P.** Obzor napravleniy nauchnogo obes-pecheniya pozharnoy bezopasnosti / V.I. Klimkin, N.P. Kopylov // Po-zharnaya bezopasnost. – 2013. – N 1. – S. 74-88.

15. **Sidorov, A.E., Shevchuk, V.G.** Laminarnoe plamy v melkodispers-nyih pyilyah / A.E. sidorov, V.G. Shev-chuk // Fizika gorennya i vzryiva. – 2011. – T. 47. – N 5. – S. 24-28.

16. **Alekseev, B.V., Grishin, A.M.** Fizicheskaya gazodinamika reagi-ruyuschiy sred / B.V. Alekseev, A.M. Grishin. – M.: Vysshaya shkola, 1985. – 464 s.

17. **Varnatts, Yu.** Gorennyye. Fizicheskiye i himicheskiye aspektyi, modeli-rovaniye, eksperimenty, obrazovaniye zagryaznyayuschiy veschestv / Yu. Varnatts, U. Maas, R. Dibbl. – M.: FIZMAT-LIT, 2006. – 652 s.

18. **Merzhanov, A.G., Mukosyan, A.S.** Tverdoplamennoye gorennyye / A.G. Merzhanov, A.S. Mukosyan. – M.: TORUS PRESS, 2007. – 336 s.

TO A QUESTION OF FEATURES OF EMERGENCE AND DEVELOPMENT OF DISPERSE MATERIALS BURNING

Spichkin Yu. V.

D. Sc. in Chemistry, Prof.

Voronezh Institute of State Fire 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;

e-mail: AVKalach@gmail.com

Sorokina J.N.

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

Voronezh Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia;
Russia, Voronezh,

e-mail: sorokina-jn@mail.ru

In article questions of features of emergence and development of fires from physical and chemical positions of a disperse condition of substance are considered. Features of burning of air-dust mixes are presented.

Keywords: disperse system, superficial energy, burning mechanism, suppression.

АНАЛИЗ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ ПО МНОГОЛЕТНИМ СТАТИСТИЧЕСКИМ ДАННЫМ

П.М. Мазуркин

Шкалу времени регистрации лесных пожаров в прошлом измеряют в сутках, за нулевое значение времени регистрации принимают момент первого зарегистрированного в книге учета лесного пожара. Из книги учета принимают первичные показатели о лесных пожарах, выполняют корректировку статистических данных относительно принятой шкалы времени регистрации лесных пожаров, дополнительно учитывают производные от первичных показателей. Приведены статистические модели каждого первичного и производного от него показателя в зависимости от времени регистрации лесных пожаров. Кратко изложен метод идентификации волновых функций в виде асимметричных вейвлет-сигналов.

Ключевые слова: лесные пожары, показатели, измерение, динамика, закономерности, вейвлет-сигналы.

Введение. Совокупность лесных пожаров принимается за динамическую популяцию, поведение которой изменяется во времени регистрации лесных пожаров на одной и той же территории.

Время регистрации лесных пожаров измеряется физической единицей (в сутках) как цикл вращения Земли вокруг своей оси. Результаты измерений времени регистрации лесных пожаров принимаются как влияющая переменная для всех первичных (измеренных) и производных из первичных (расчетных) показателей лесных пожаров.

При этом время обнаружения и окончания тушения, а также разность между ними как период лесного пожара из обычной системы исчисления времени (часы, минуты и секунды) преобразуются в десятичную систему счисления (в часах и десятичных долях часа).

Положительный эффект достигается тем, что повышаются функциональные возможности системы типа «Лесной Дозор», а также точность инерционного прогнозирования лесных пожаров, в её программной части - это специальное программное обеспечение, с помощью которого заказчик осуществляет мониторинг лесов в режиме реального времени с момента регистрации первого на данной территории лесного пожара и определяет количество возгораний на одной и той же координате.

Новизна метода анализа [1-12] заключается в том, что впервые выполнено преобразование пассивной статистической выборки из книги учета

Мазуркин Петр Матвеевич,
доктор технических наук, профессор,
Поволжский ГТУ,
e-mail: kaf_po@mail.ru

лесных пожаров в динамическую систему поведения локальной лесной точки на земной поверхности в зависимости от времени регистрации лесных пожаров, определяемых по датам и времени регистрации. В итоге материальный объект в виде Земли (суточные циклы) воздействует на популяцию лесных пожаров, то есть на лесной ландшафт на конкретной территории. В связи с этим суточное время регистрации лесных пожаров становится влияющей физической переменной, позволяющей в дальнейшем увязать параметры различных природных явлений (освещенности, тепловой радиации, метеорологических показателей и пр.) с параметрами каждого единичного лесного пожара – периодом и площадью пожара, его средней скоростью.

Регистрация пожаров. Государственный природный Национальный парк «Марий Чодра» (в переводе «марийский лес») организован 1 декабря 1985 года. Название его не случайно - вся территория парка покрыта прекрасными сосновыми борами и хвойно-широколиственными лесами. Парк находится на юго-востоке Республики Марий Эл, в трех административных районах - Моркинском, Звениговском, Волжском - в 20-40 километрах от г. Волжска и 50-70 километрах от г. Йошкар-Олы.

Книга учета лесных пожаров ФГБУ «Национальный парк «Марий Чодра» представляет собой журнал, в котором составитель акта о пожаре (старший инженер ОЗЛ, начальник ПХС, лесничий, помощник лесничего, мастер леса) лесничества, где произошло возгорание, записывает все известные ему данные о возгорании.

Данная Книга учета лесных пожаров ведется в НП «Марий Чодра» с 1982 г. (Табл. 1).

Таблица 1

Данные по лесным пожарам за 1982-2011 гг.

Дата	Моменты времени, ч : мин			Лесничество	Квартал	Площадь лесная (га)
	Обнаружение пожара	Начало тушения	Окончание тушения			
01.08.1982	19:35	20:05	5:20	Яльчинское	84	0,6
16.08.1982	16:50	-	8:30	Лушмарское	61	0
27.08.1982	14:55	18:00	19:00	Кленовогорское	54	0,03
30.08.1982	15:50	16:00	14:00	Лушмарское	24	0,02
30.08.1982	18:00	18:40	22:00	Кленовогорское	26	0,02
02.09.1982	16:50	17:00	20:00	Яльчинское	80	0,02
15.05.1983	16:00	16:30	21:00	Яльчинское	86	2
30.05.1983	14:40	15:10	19:00	Яльчинское	34	0,03
...
23.05.2011	16:10	16:10	17:30	Кленовогорское	27	0,001
26.07.2011	9:30	9:30	14:00	Яльчинское	32	0,01
07.08.2011	17:30	17:30	19:00	Яльчинское	59	0,01
13.08.2011	20:00	20:15	12:00 14.08	Кленовогорское	26	0,015

Исходные данные для статистического моделирования. По данным Книги учета лесных пожаров дополнительно были определены следующие показатели для моделирования (Табл. 2):

- 1) время с начала регистрации (сутки), при этом для первой регистрации пожара 01.08.1982 время с начала регистрации равно нулю;
- 2) годы текущего времени (лет);
- 3) время по пожароопасному сезону (сутки);
- 4) промежуток между пожарами по времени обнаружения (сутки).

Промежуток времени между пожарами по времени их обнаружения рассчитывается следующим образом: из даты последующего пожара вычи-

тается дата предыдущего. С учетом високосного года учитывается промежуток времени после последнего пожара в данном году до первого пожара в следующем календарном году. Выглядит это так: 16.08.1982 - 01.08.1982=15 суток.

Время с начала регистрации (сутки) рассчитывается за все годы вместе, причем как кумулята:

$0 + 15 = 15$; $15 + 11 = 26$; $26 + 3 = 29$; $29 + 0 = 29$; $29 + 3 = 32$ и т.д.

Годы текущего времени получаются, начиная с нуля для первого года. Время по сезону года (сутки) рассчитывается аналогично как время с начала регистрации только отдельно по годам.

Таблица 2

Динамика лесных пожаров в «Марий Чодра» за 1982-2011 гг.

№ п/п	Дата регистрации лесного пожара	Время между пожарами, сутки	Время с начала регистрации, сутки	Параметры пожара, ч			Площадь лесного пожара, га
				Время обнаружения	Начало тушения	Окончание тушения	
1	01.08.1982	0	0	19,58	20,08	5,33	0,6
2	16.08.1982	15	15	16,83	-	8,50	-
3	27.08.1982	11	26	14,92	18,00	19,00	0,03
4	30.08.1982	3	29	15,83	16,00	14,00	0,02
5	30.08.1982	0	29	18,00	18,67	22,00	0,02
6	02.09.1982	3	32	16,83	17,00	20,00	0,02
7	15.05.1983	256	287	16,00	16,50	21,00	2
8	30.05.1983	15	302	14,67	15,17	19,00	0,01
...
257	23.05.2011	253	10584	16,17	16,17	17,5	0,001
258	26.07.2011	64	10648	9,5	9,5	14	0,01
259	07.08.2011	12	10660	17,5	17,5	19	0,01
260	13.08.2011	6	10666	20	20,25	-	0,015

Остальные четыре параметра лесного пожара, приведенные в Табл. 2, получаются из данных таблицы 1 при переводе минут в десятичные доли часа. Всего в книге учета за период 1982-2011 гг. оказалось 260 лесных пожаров.

Для технического решения были отобраны шкалы времени (Табл. 3): t – время с начала регистрации, сутки; t_c – годы текущего времени, лет.

Время обнаружения и окончания тушения сами по себе не имеют факторного значения, но вычитанием дают продолжительность, или период лесного пожара – T . Основным физическим параметром

для измерения потушенного лесного пожара является фактор – площадь лесного пожара (территория, пройденная пожаром) S .

Взаимные отношения между параметрами T и S дают еще два показателя (они в данном техническом решении не учитываются): $s_T = S/T$ – средняя скорость каждого лесного пожара, м²/с; $\tau_S = T/S$ – удельное время каждого лесного пожара, с/м². Однако по шести строкам оказались прочерки в массиве данных по площади пожара, поэтому остались 254 строки в таблице 3 за 30 лет.

Таблица 3

Динамика лесных пожаров в «Марий Чодра» за 1982-2009 гг.

№ п/п	Время регистрации t , сутки	Время обнаружения	Окончание тушения	Период пожара T , ч	Площадь пожара S , га	Средняя скорость пожара s_T , м ² /с	Удельное время тушения τ_S , с/м ²
1	0	19.58	5.33	9.75	0.6	0.1709	5.85
2	26	14.92	19.00	4.08	0.03	0.0204	48.96
3	29	14.00	15.83	1.83	0.02	0.0304	32.94
4	29	18.00	22.00	4	0.02	0.0139	72.00
5	32	16.83	20.00	3.17	0.02	0.0175	57.06
...
250	10288	12,25	13,083	0.833	0.0075	0.0250	39.98
251	10331	18,083	19,5	1.417	0.005	0.0098	102.02
252	10584	16,17	17,5	1.33	0.001	0.0021	478.80
253	10648	9,5	14	4.5	0.01	0.0062	162.00
254	10660	17,5	19	1.5	0.01	0.0185	54.00

Структурная идентификация. Декарт предполагал существование одного-единственного алгебраического уравнения, пригодного как вариант решения для любых типов интегральных уравнений.

Гильберт мечтал об инвариантах, из которых как из кирпичиков будет собираться это универсальное уравнение.

Универсальные инварианты даны в Табл. 4.

Таблица 4

Математические конструкторы (исходные инварианты) для моделирования методом идентификации

Фрагменты без предыстории изучаемого явления или процесса	Фрагменты с предысторией изучаемого явления или процесса
$y = ax$ – закон линейного роста или спада (при отрицательном знаке перед правой стороной формулы линейного изменения)	$y = a$ – закон невливания принятой объясняющей переменной на показатель, который имеет собственную предысторию значений
$y = ax^b$ – закон показательного роста (закон показательной гибели $y = ax^{-b}$ не является устойчивым, из-за бесконечности показателя при нулевом значении объясняющей переменной)	$y = a \exp(\pm cx)$ – закон Лапласа в математике (Ципфа в биологии, Парето в экономике, Мандельброта в физике) экспоненциального роста или гибели, относительно которого Лаплас создал операторное исчисление
$y = ax^b \exp(-cx)$ – биотехнический закон в упрощенной форме (П.М. Мазуркин), когда показательный рост постепенно получает экспоненциальное торможение	$y = a \exp(\pm cx^d)$ – закон экспоненциального роста или гибели в полной форме (конструкции), который имеет интенсивность, не равную единице (П.М. Мазуркин)
$y = ax^b \exp(-cx^d)$ - биотехнический закон, общий для шести конструкторов (П.М. Мазуркин)	

Они сгруппированы по принципу «от простого к сложному». По сути фрагменты и сам биотехнический закон являются «кирпичиками Гильберта» для построения, в ходе процесса структурно-параметрической идентификации, аддитивной конструкции искомой статистической детерминированной или волновой модели. Инварианты колебательных возмущений в виде асимметричных вейвлет-сигналов также включают в себя конструкты из Табл. 4 как амплитуда (половина) и полупериод.

В Табл. 4 показаны все наиболее встречающиеся инварианты (фрагменты). У них впереди могут быть расположены оперативные константы «+» или «-». Шесть устойчивых законов распределения являются частными случаями биотехнического закона, показанного внизу Табл. 4. В названии закона слово «биотехнический» означает, что мы придерживаемся идей В.И. Вернадского о космической функции жизни.

Если известна эвристическая предыстория формирования числового поля (табличной модели), то вполне возможна смысловая расшифровка каждого вейвлет-сигнала, у которого вейвлет (волновая функция) в своей конструкции содержит те или иные математические инварианты из Табл. 4.

Устойчивые законы и закономерности на их основе делают выбор уравнения для последующей идентификации на статистических данных (числовых полях) вполне осмысленным, и поэтому вероятностное моделирование остается только при случайном поиске программной средой типа CurveExpert значений параметров у искомой моде-

ли. Поэтому из теории идентификации первый этап (выбор случайной структуры уравнения) исключается и остается только второй этап – случайная идентификация значений параметров искомой модели.

Идентификация структуры модели проводится обработкой исходных данных следующим образом:

- вначале выявить детерминированные нелинейные закономерности;
- затем дополнять эти трендовые закономерности колебательными возмущениями.

Идентификация параметрическая. Она выполнялась в программной среде CurveExpert-1.38 или CurveExpert-1.40 (Программная среда CurveExpert. – URL : <http://www.curveexpert.net/>) и **информационной технологией идентификации** пользуются студенты (будущие бакалавры и магистры), а также аспиранты и докторанты.

Выбор структуры искомой модели, которая является алгебраическим решением по Декарту для неизвестной первообразной по волновым уравнениям, имеющим переменные амплитуду и полупериод (половины частоты как обратная величина полупериода) колебательного возмущения объекта исследования, выполняется из устойчивых законов (инвариантов), приведенных в Табл. 4.

Уровни адекватности выявляемых закономерностей. В Табл. 5 приведены интервалы изменения коэффициента корреляции как меры адекватности модели.

Таблица 5

Уровни тесноты факторных связей

Интервал коэффициента корреляции	Характер тесноты связи между факторами		
	существующая классификация	шкала для технических измерений	шкала для прецизионных измерений
1	сильная связь	однозначная	однозначная
0,99...1,00		сильнейшая	почти однозначная
0,95...0,99			сверхсильная
0,90...0,95			сильнейшая
0,7...0,9		сильная	сильная
0,5...0,7	слабая связь	средняя	средняя
0,3...0,5		слабоватая	слабоватая
0,1...0,3		слабая	слабая
0,0...0,1	нет связи	слабейшая	слабейшая
0		нет связи	нет связи

Существующая шкала квантификации тесноты связи между принятыми факторами (нет связи, слабая и сильная связь) является очень грубой.

Влияние времени в сутках. Именно физический параметр – цикл обращения Земли вокруг своей оси, то есть сутки, стал основным влияющим параметром в процессе физико-математического анализа. Введение шкалы времени в сутках значительно

изменило поведение популяции лесных пожаров за 30 лет на территории национального парка.

При этом первые три составляющие (Рис. 1) оказались примерно с такой же адекватностью, как это было для формулы (1). при коэффициенте корреляции 0.4019. Но применение единицы измерения времени регистрации в сутках позволила дать большое множество волновых членов уравнения.

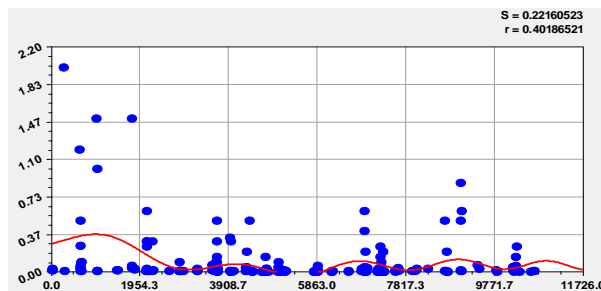


Рис. 1. График изменения площади лесного пожара от времени измерения в сутках

Асимметричный вейвлет. Мы придерживаемся концепции Декарта о необходимости применения алгебраического уравнения общего вида напрямую как конечного математического решения неизвестных интегральных уравнений.

Условиям существования наиболее полно удовлетворяет *асимметричная вейвлет-функция*

$$y = \sum_{i=1}^m y_i, \quad y_i = a_{1i} x^{a_{2i}} \exp(-a_{3i} x^{a_{4i}}) \times \cos(\pi x / (a_{5i} + a_{6i} x^{a_{7i}}) - a_{8i}), \quad (2)$$

где y – показатель (зависимый фактор), в нашем примере площадь лесного пожара, a_i – номер составляющей модели (2), m – количество членов в модели (2), x – объясняющая переменная (влияющий фактор), $a_1 \dots a_{10}$ – параметры, принимающие

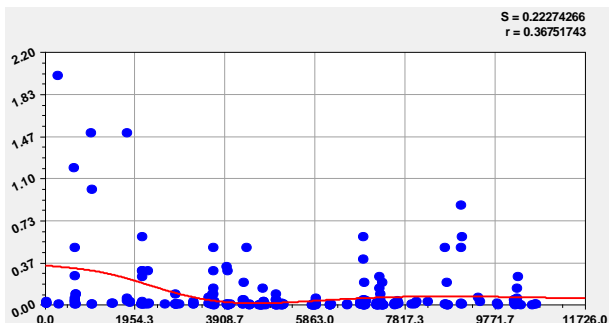
числовые значения в ходе структурно-параметрической идентификации (2).

Динамический ряд как череда сигналов.

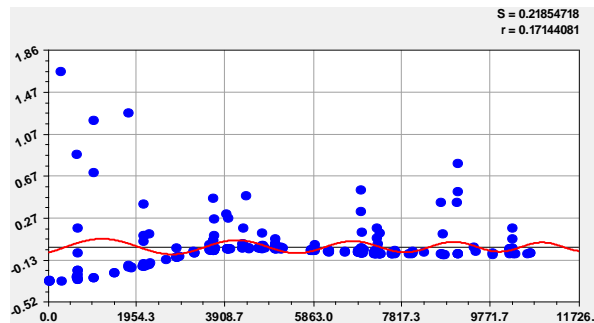
Физико-математический подход предполагает понимание смысла *динамического ряда* как отражения какого-то составного реального процесса.

Впервые удалось получить модели многих типов динамики на концепции аддитивного разложения любого динамического ряда на множество сигналов. Понятие вейвлет-сигнала позволяет абстрагироваться от физического смысла самих рядов (в общем случае не только динамических) и рассматривать их аддитивное разложение.

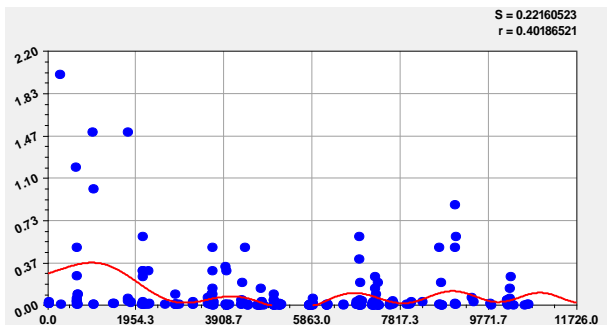
На Рис. 2-5 показаны графики физико-математического анализа динамики лесных пожаров за 1982-2011 гг. в «Марий Чодра».



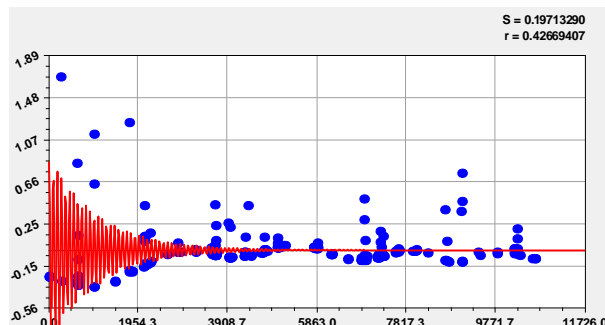
Тренд



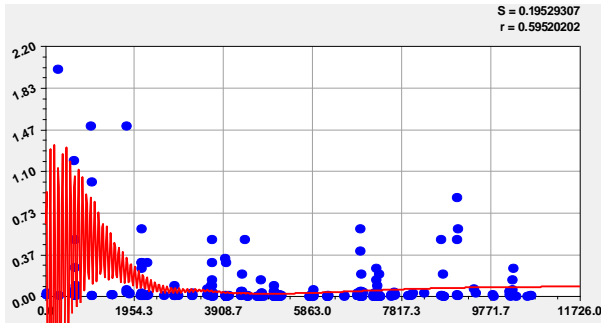
Первое колебание



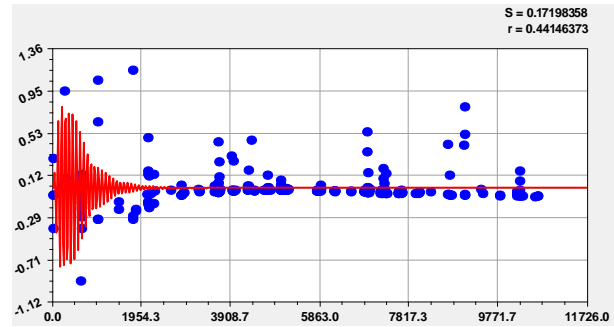
Тренд + первая волна



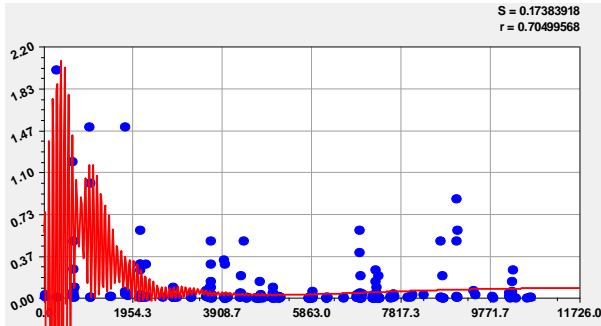
Второе колебательное возмущение



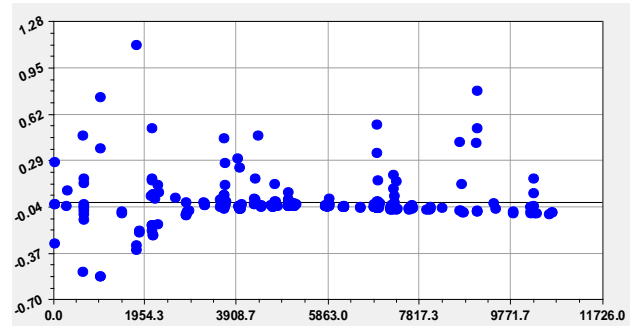
Тренд + две волны



Третье колебательное возмущение



Тренд + три волны



Остатки после «тренд + три волны»

Рис. 2. Графики тенденции трехволновых колебательных возмущений и их совместная динамика значений площади лесных пожаров за период 1982-2011 гг., полученные по возможностям программной среды CurveExpert-1.40

Сигнал – это материальный носитель информации. А информация нами понимается как мера взаимодействия. Сигнал может генерироваться, но его приём не обязателен. Так, например, ряд простых чисел известен несколько тысяч лет, но суть его как множества сигналов до сих пор не была раскрыта. Сигналом может быть любой физический процесс или его часть.

Получается, что изменение множества неизвестных сигналов давно известно, например, через ряды гидрометеорологических и иных климатических [3] измерений во многих точках планеты.

Тогда любое уравнение типа (2) можем записать как асимметричный вейвлет

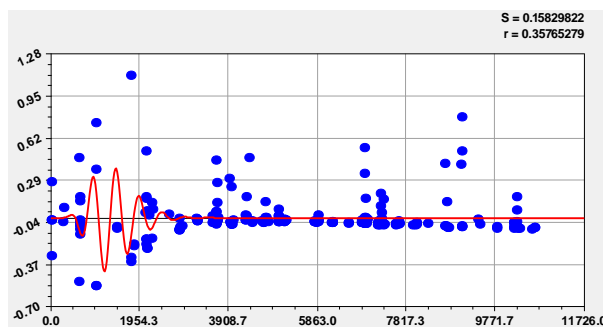
$$y_i = A_i \cos(\pi x / p_i - a_{3i}) \quad (3)$$

$$A_i = a_{1i} x^{a_{2i}} \exp(-a_{3i} x^{a_{4i}})$$

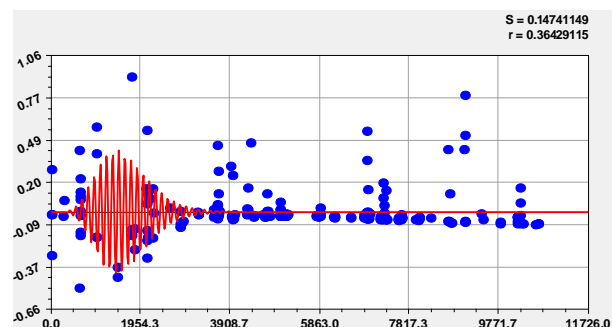
$$, p_i = a_{5i} + a_{6i} x^{a_{7i}} .$$

где A_i – амплитуда (половина) вейвлета (ось y). p_i – полупериод колебания (ось x).

По формуле (3) с двумя **фундаментальными физическими постоянными** e (число Непера или число времени) и π (число Архимеда или число пространства) образуется изнутри изучаемого явления и/или процесса **квантованный вейвлет-сигнал**. Понятие вейвлет-сигнала позволяет абстрагироваться от физического смысла самих рядов (в общем случае не только динамических) и рассматривать их аддитивное разложение.



4-е колебание



5-е колебание

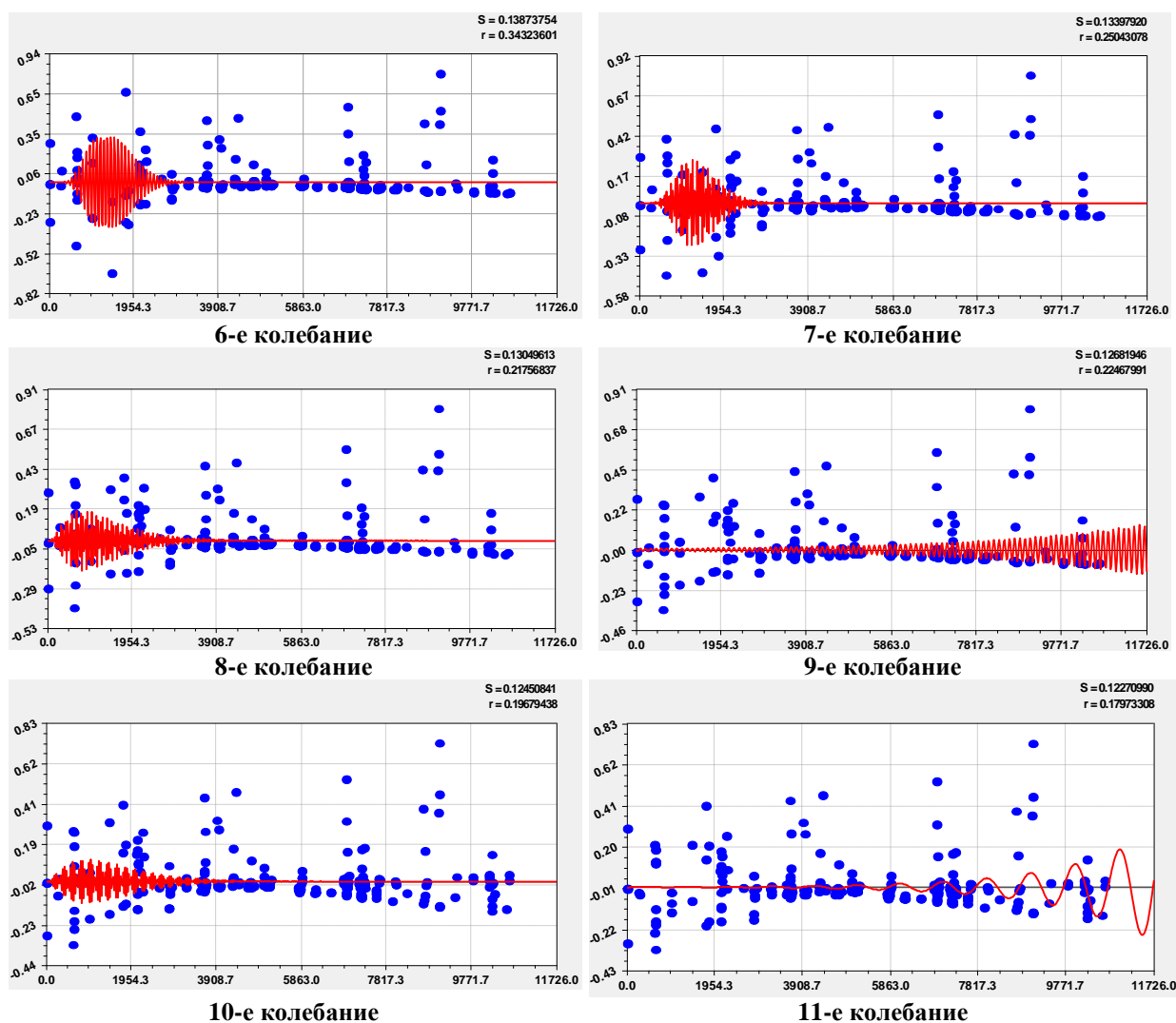


Рис. 3. Графики отдельных волновых уравнений (асимметричные вейвлет-сигналы) по второй части составляющих общей статистической модели динамики площади лесных пожаров в зависимости от времени измерения в сутках за период 1982-2011 гг.

Для краткой записи значений параметров уравнений всех 22 членов обобщенной функции (3) применена матричная форма (Табл. 6).

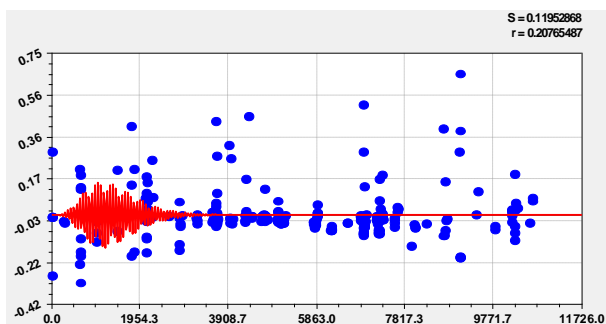
Остатки (Рис. 6) после 22-го члена (20-й волны колебательного возмущения) получили пару противоположно ориентированных значений при одной и той же абсциссе.

Как видно из точечного распределения, разброс точек возрастает до этой пары (показаны стрелками), а затем по инерции разброс повышается. Но в конце периода измерений точность измерений повышается (разброс резко уменьшается).

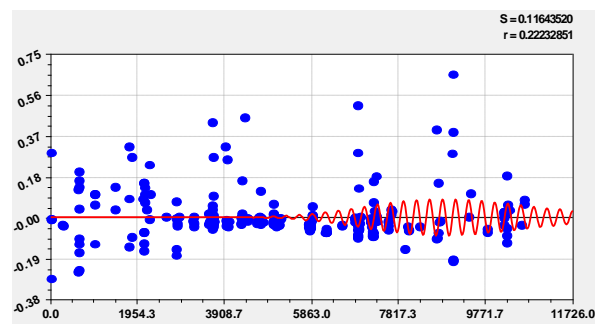
Заключение. Предлагаемый метод анализа обладает простотой проведения.

Причем по выявленным закономерностям можно было бы выполнить ориентировочный инерционный прогноз на горизонт прогноза, равный основанию прогноза (промежутку времени от нуля до последнего измерения лесного пожара), а также рабочий инерционный прогноз на одну треть периода прошлых измерений лесных пожаров. В итоге повышается оперативность тушения пожаров.

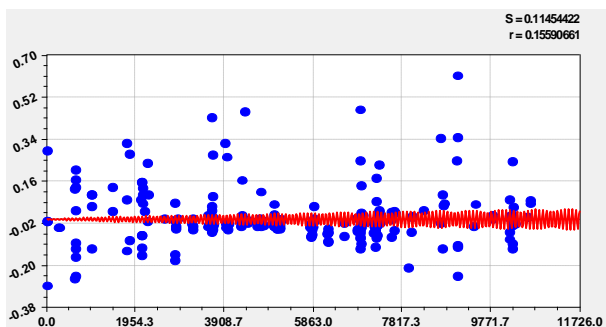
Применение предложенного метода расширяет возможности территориального экологического мониторинга, повышает функциональные возможности системы типа «Лесной Дозор».



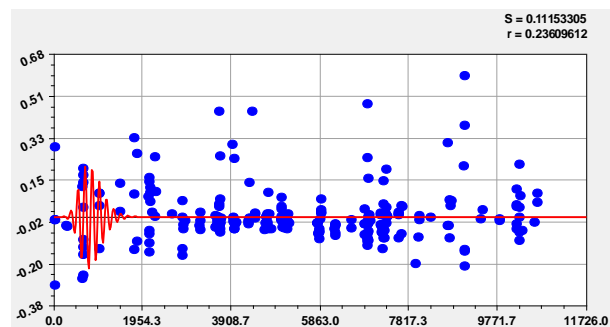
12-е колебание



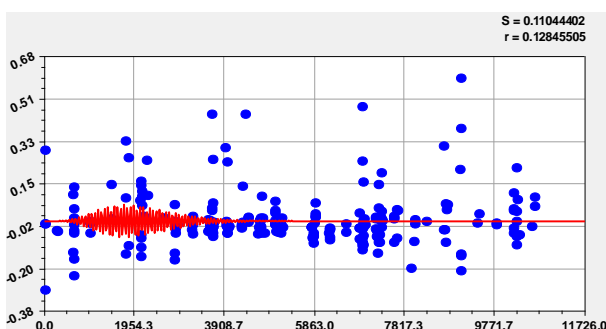
13-е колебание



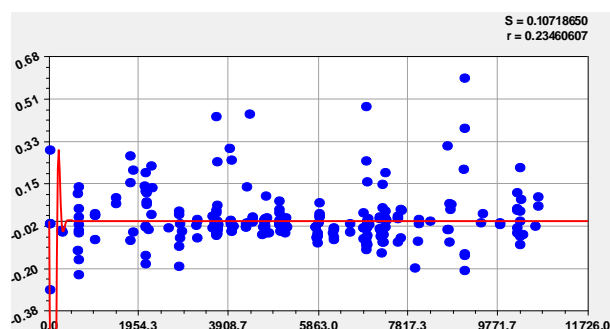
14-е колебание



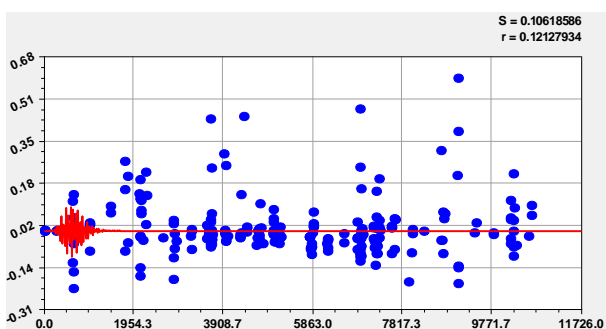
15-е колебание



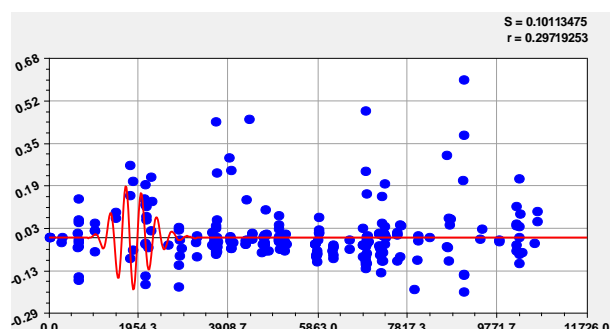
16-е колебание



17-е колебание



18-е колебание



19-е колебание

Рис. 4. Графики отдельных волновых уравнений (асимметричные вейвлет-сигналы) по второй части составляющих общей статистической модели динамики площади лесных пожаров в зависимости от времени измерения в сутках за период 1982-2011 гг. как продолжение физико-математического анализа массива статистических данных

Кроме того, повышается также точность инерционного прогнозирования лесных пожаров, в её программной части – это специальное программное обеспечение, с помощью которого заказчик осуществляет мониторинг лесов в режиме реального времени с момента регистрации первого на данной территории лесного пожара и определяет количество возгораний на одной и той же координате.

В итоге появляется практическая возможность, с использованием многолетних данных о лесных пожарах на территории, экологического и технологического (пожаротушения) мониторинга для прогнозирования.

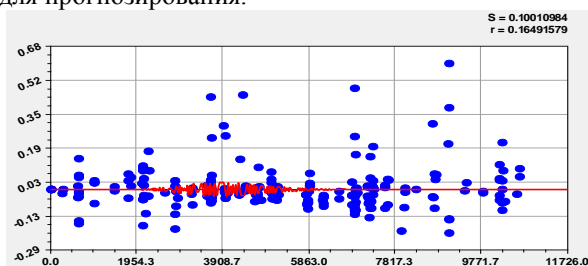


Рис. 5. Графики отдельных волновых уравнений по второй части составляющих общей статистической модели динамики площади лесных пожаров в зависимости от времени измерения в сутках за период 1982-2011 гг. как 20-е колебательное возмущение в виде асимметричного вейвлет-сигнала

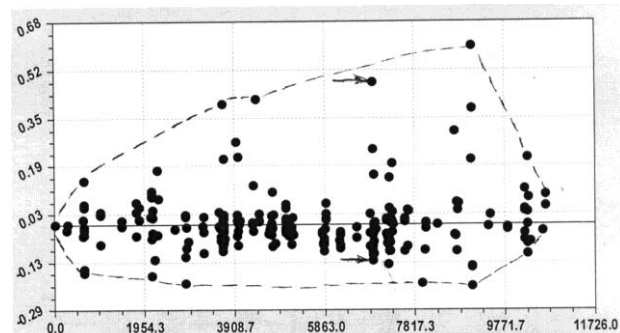


Рис. 6. Остатки после 20-го колебания в виде шума, который появляется из-за возникновения пары противоположно расположенных относительно оси абсцисс двух точек (показаны стрелками $t = 6922$ суток $S = 0.475544$ га и $t = 6922$ суток $S = -0.119456$ га), а пунктирной линией показана динамика интервала разброса остатков

Одновременно происходит уточнение распределения времени слежения у аппаратной части системы на те или иные объекты по выявленным статистическим моделированием закономерностям, а также прогнозный расчет по ним значений параметров будущих лесных пожаров.

Таблица 6

Параметры вейвлет-сигналов динамики площади лесных пожаров, га

№ <i>i</i>	Амплитуда колебания (3)				Полупериод и сдвиг колебания (3)				Кэфф. коррел.
	a_{1i}	a_{2i}	a_{3i}	a_{4i}	a_{5i}	a_{6i}	a_{7i}	a_{8i}	
1	0,099469	0	1,10516e-6	1,12425	0	0	0	0	0,7050
2	-3,53087e-20	5,60399	0,0011208	1,00071	0	0	0	0	
3	-4,14493	0	0,0018387	1	3638.952	-0,68395	1	-1,39525	
4	1,69642	0	0,0012152	1	44,11963	0	0	0,78600	
5	-5,41258e-5	3,76958	1,72078	0,33592	40,15229	0	0	0	0,3577
6	-4,89109e-20	7,07555	0,0038303	1,05028	5,09452	0	0	1,80841	0,3643
7	8,13875e-20	6,88600	0,0048578	1	8,99494	5,66406e-11	1	0,36339	0,3432
8	1,11073e-22	8,07420	0,0062925	1	5,95468	-1,48025e-6	1	4,07923	0,2504
9	-8,31051e-20	6,98146	0,0057093	1	4,02093	6,47353e-8	1	-0,021803	0,2176
10	6,86038e-8	2,93353	0,082222	0,60889	4,31117	0	0	0,90254	0,2247
11	-0,0061436	0	-0,00027068	1	59,70359	-7,49475e-9	1	1,83074	0,1968
12	-1,75252e-5	1,50472	0,0015981	1	3,01407	6,09900e-10	1	3,21235	0,1797
13	0,00088503	0	-0,00048654	1,00082	454,9201	0,0019775	0,99997	3,09600	0,2077
14	1,72624e-12	4,18325	0,0037123	1	7,92140	0	0	1,95500	0,2233
15	-8,09530e-83	23,07698	0,0026183	1	1,50027	0	0	-3,40294	0,1559
16	7,58860e-5	0,68221	6,02516e-7	1	13,99570	0	0	0	0,2361
17	3,33572e-26	10,12949	0,012306	1,01046	3,31899	0	0	-4,08812	0,1285
18	6,35400e-16	4,99166	0,0027039	1,00677	1,00957	0	0	-3,98463	0,2346
19	-0,060688	1,22372	0,023509	1	56,13935	0,075774	1	-0,0027380	0,1213
20	-9,60783e-20	7,74883	0,013405	1	1,40310	5,78986e-9	1	-0,82540	0,2972
21	-1,24998e-60	20,98269	0,0099236	1,02126	1,49818	0	0	3,62390	0,1649
22	1,33889e-55	16,96104	0,0044297	1	1,49781	-9,24608e-5	1	-4,72867	

Библиографический список

1. Мазуркин, П.М. Идентификация статистических устойчивых закономерностей / П.М. Мазуркин // Наука и мир: международный научный журнал. – 2013. – N 3(3). – С.28-33.
2. Мазуркин, П.М. Решение 23-ой проблемы Гильберта Междисциплинарные исследования в области математического моделирования и информатики. Матер. 3-й научно-практ. интернет-конф. / П.М. Мазуркин. – Ульяновск: SIMJET, 2014. – С. 269-277.
3. Мазуркин, П.М., Блинова, К.С. Активность Солнца и годичная динамика лесных пожаров на особо охраняемой территории / П.М. Мазуркин, К.С. Блинова // Успехи современного естествознания. – 2013. – № 1. – С. 102-107.
4. Мазуркин, П.М. Асимметричные вейвлет-сигналы многолетней динамики численности лесных пожаров Республики Марий Эл / П.М. Мазуркин, К.С. Блинова, А.В. Хазиев // Вестник Казанского технол. ун-та. – 2013. – Т. 16. – № 15. – С.148-151.
5. Мазуркин, П.М. Каткова, Т.Е. Моделирование многолетней динамики изменения площади лесных пожаров / П.М. Мазуркин, Т.Е. Каткова // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2013. – № 1 (6). – С.31-37.
6. Мазуркин, П.М., Каткова, Т.Е. Анализ многолетней динамики удельной площади лесных пожаров / П.М. Мазуркин, Т.Е. Каткова // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2013. – N 2 (7). – С.37-43.
7. Мазуркин, П.М., Каткова, Т.Е. Вейвлет-анализ многолетней динамики локальной численности лесных пожаров / П.М. Мазуркин, Т.Е. Каткова // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5 – [Электронный ресурс] – URL: <http://www.science-education.ru/111-10164> (дата обращения: 26.09.2013).
8. Мазуркин, П.М., Скорикова, Л.А. Динамика температуры горения древесных опилок при испытании сжиганием / П.М. Мазуркин, Л.А. Скориков // Вестник КНИТУ. – 2011. – № 7. – С.58-61.
9. Мазуркин, П.М., Филонов, А.С. Математическое моделирование. Идентификация одnofакторных статистических закономерностей: учеб. пособие / П.М. Мазуркин, А.С. Филонов. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. – 292 с.
10. Пат. 2406079 Российская Федерация. МПК G 01 № 25/00. G 01 № 33/46 (2006.01). Способ испытания древесных материалов по температуре сгорания / Мазуркин П.М., Кудрявцева Л.А. (РФ); заявитель и патентообладатель Марийский гос. тех. ун-т. – № 2009133872/28; заявл. 09.09.2009; опубл. 10.12.2010.
11. Пат. 2449272 Российская Федерация. МПК G 01 № 33/46. A 01 G 23/00 (2006.01). Способ испытания древесных материалов на горючесть / Мазуркин П.М., Кудрявцева Л.А.; заявитель и патентообладатель Марийский гос. тех. университет. – № 2009133878/15; заявл. 09.09.2009; опубл. 27.04.2012; Бюл. №12.
12. Пат. 2416793 Российская Федерация. МПК G 01 № 33/46. A 62 S 3/02 (2006.01). Способ испытания лесных горючих материалов на воспламеняемость / Мазуркин П.М., Кудрявцева Л.А., Егорова Е.А. (РФ); заявитель и патентообладатель Марийский гос. тех. ун-т. – № 2009133875/12; заявл. 09.09.2009; опубл. 20.04.2011.

ANALISIS OF FOREST FIRES PERENNIAL STATISTICS

Mazurkin P.M.

Volga State University of Technology;
Ioshkar-Ola, Russia

Time scale of registration of forest fires in the past measure in days, and for zero value of time of registration take the moment of the first account of forest fire registered in the book. From the book of the account accept primary indicators about forest fires, carry out updating of statistical data of rather accepted time scale of registration of forest fires, in addition consider derivatives from primary indicators. Statistical models of indicator everyone primary and derivative of it depending on time of registration of forest fires are given. The method of identification of wave functions in the form of asymmetric wavelet signals is stated briefly.

Keywords: forest fires, indicators, measurement, dynamics, regularities, wavelet signals.

References

1. Mazurkin, P.M. Identifikatsiya statisticheskikh ustoychiviyh zakonornostey / P.M. Mazurkin // Nauka i mir: mezhdunarodnyiy nauchnyiy zhurnal. – 2013. – N 3(3). – S.28-33.
2. Mazurkin, P.M. Reshenie 23-oy problemy Gilberta Mezhdistsiplinarnyye issledovaniya v oblasti matematicheskogo modelirovaniya i informatiki. Mater. 3-y nauchno-prak. internet-konf. / P.M. Mazurkin. – Ulyanovsk: SIMJET, 2014. – S. 269-277.
3. Mazurkin, P.M., Blinova, K.S. Aktivnost Solntsa i godichnaya dinamika lesnyih pozharov na osobo ohranyaemoy territorii / P.M. Mazurkin, K.S. Blinova // Uspehi sovremennogo estestvoznaniya. – 2013. – № 1. – S. 102-107.
4. Mazurkin, P.M. Asimmetrichnyie veyvlet-signalny mnogoletney dinamiki chislennosti lesnyih pozharov Respubliki Mariy El / P.M. Mazurkin, K.S. Blinova, A.V. Haziev // Vestnik Kazanskogo tehnol. un-ta. – 2013. – T. 16. – № 15. – S.148-151.
5. Mazurkin, P.M. Katkova, T.E. Modelirovanie mnogoletney dinamiki izmeneniya ploschadi lesnyih pozharov / P.M. Katkova, T.E. Katkova // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii. – 2013. – № 1 (6). – S.31-37.
6. Mazurkin, P.M., Katkova, T.E. Analiz mnogoletney dinamiki udelnoy ploschadi lesnyih pozharov / P.M. Mazurkin, T.E. Katkova // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii. – 2013. – N 2 (7). – S.37-43.
7. Mazurkin, P.M., Katkova, T.E. Veyvlet-analiz mnogoletney dinamiki lokalnoy chislennosti lesnyih pozharov / P.M. Mazurkin, T.E. Katkova // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. – 2013. – № 5 – [Elektronnyiy resurs] – URL: <http://www.science-education.ru/111-10164> (data obrascheniya: 26.09.2013).
8. Mazurkin, P.M., Skorikova, L.A. Dinamika temperatury goreniiya drevesnyih opilok pri ispyitanii szhiganiem / P.M. Mazurkin, L.A. Skorikov // Vestnik KNITU. – 2011. – № 7. – S.58-61.
9. Mazurkin, P.M., Filonov, A.S. Matematicheskoe modelirovanie. Identifikatsiya odnofaktornyih statisticheskikh zakonornostey: ucheb. posobie / P.M. Mazurkin, A.S. Filonov. – Yoshkar-Ola: MarGTU, 2006. – 292 s.
10. Pat. 2406079 Rossiyskaya Federatsiya. MPK G 01 № 25/00. G 01 № 33/46 (2006.01). Sposob ispyitaniya drevesnyih materialov po temperature sgoraniya / Mazurkin P.M., Kudryavtseva L.A. (RF); zayavitel i patentoobladatel Mariyskiy gos. teh. un-t. – № 2009133872/28; zayavl. 09.09.2009; opubl. 10.12.2010.
11. Pat. 2449272 Rossiyskaya Federatsiya. MPK G 01 № 33/46. A 01 G 23/00 (2006.01). Sposob ispyitaniya drevesnyih materialov na goryuchest / Mazurkin P.M., Kudryavtseva L.A.; zayavitel i patentoobladatel Mariyskiy gos. teh. universitet. – № 2009133878/15; zayavl. 09.09.2009; opubl. 27.04.2012; Byul. №12.
12. Pat. 2416793 Rossiyskaya Federatsiya. MPK G 01 № 33/46. A 62 S 3/02 (2006.01). Sposob ispyitaniya lesnyih goryuchih materialov na vosplamenyayemost / Mazurkin P.M., Kudryavtseva L.A., Egorova E.A. (RF); zayavitel i patentoobladatel Mariyskiy gos. teh. un-t. – № 2009133875/12; zayavl. 09.09.2009; opubl. 20.04.2011.

ТРЕБОВАНИЯ АВИАЦИОННЫХ НОРМ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВИАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ: ИСТОРИЯ, СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

С.Л. Барботько

Возгорания самолетов являются крайне редкими и происходят, как правило, в случае серьезных аварий. Однако вероятностью возникновения пожара нельзя пренебрегать, так как это может повлечь большие человеческие жертвы и нанести существенный материальный и экологический ущерб. Чтобы обеспечить безопасность людей, сохранность авиационной техники и минимизировать возможный ущерб, следует обеспечить соблюдение требований пожарной безопасности, изложенных в авиационных нормативных документах. В данной статье рассматривается история развития данных требований и современные методы оценки пожаробезопасности материалов авиационного назначения.

Ключевые слова: *пожарная безопасность, полимерные материалы, авиационные требования, методы испытаний*

Введение. В настоящее время происходит расширение использования полимерных материалов в высокотехнологичных изделиях различного назначения, в том числе и в авиационной технике. Так как полимерные материалы в подавляющем большинстве являются углерод- и водородсодержащими органическими соединениями, при контакте с открытым пламенем они способны к реакциям экзотермического окисления. При горении полимерных материалов возможно выделение конденсированных непрозрачных частиц (дыма) и токсичных продуктов термоокислительной деструкции. В связи с этим для обеспечения безопасности людей в случае аварийных ситуаций необходимо научно обоснованное нормирование допустимых характеристик пожарной безопасности используемых материалов и типовых элементов конструкций из них.

Сложность процессов горения и большое количество различных поражающих факторов привели к появлению множества методов оценки пожарной опасности материалов. В зависимости от вида изделия и условий его эксплуатации, вероятности возникновения аварийной ситуации, легкости её устранения и возможности обеспечить эвакуацию людей, экономического и экологического ущерба к различным объектам применяются разные требования, в том числе и по обеспечению пожарной безопасности. Одним из наиболее сложных высокотехнологичных объектов является авиационная техника – самолеты и вертолеты.

Барботько Сергей Львович начальник лаборатории, к.т.н., ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ВИАМ)», ГНЦ РФ, г. Москва;
e-mail: slbarbotko@yandex.ru

На борту самолета имеется большой запас углеводородного топлива, полеты имеют огромную протяженность и проходят на большой высоте, для управления приборами и механизмами используется разветвленная электрическая сеть, для отделки интерьера пассажирских салонов применяются полимерные материалы различной химической природы. По соотношению количества топлива на одного человека или килограмм груза самолеты превосходят любой другой вид транспорта, за исключением космического корабля на старте. Вследствие этого существует вероятность перехода нештатной ситуации, возникшей на борту самолета, в аварийное происшествие и его последующее развитие в катастрофу.

Пожар на борту самолета может возникнуть как во время полета (например, вследствие возгорания двигателя, короткого замыкания электропроводки и т.д.), так и на земле в момент взлета или посадки. В последнем случае может произойти разрушение топливных баков и разлив авиатоплива, такие пожары являются наиболее тяжелыми и часто сопровождаются человеческими жертвами.

Анализ зарубежных статистических данных (рис. 1 и 2) [1] показывает, что, несмотря на относительно небольшое количество катастроф, вызванных огнем, пожар занимает четвертое место среди причин смерти авиапассажира (исключая неизвестные причины), и каждая подобная авария, сопровождающаяся гибелью людей, имеет большой общественный резонанс.

Таким образом, одной из первоочередных задач для обеспечения безаварийной эксплуатации авиационной техники (особенно широкофюзеляжной) и максимальной выживаемости пассажиров является задача соблюдения существующих требований пожарной безопасности, т.е. создание новых, более безопасных материалов и элементов конструкций, а также совершенствование норм и методов оценки.

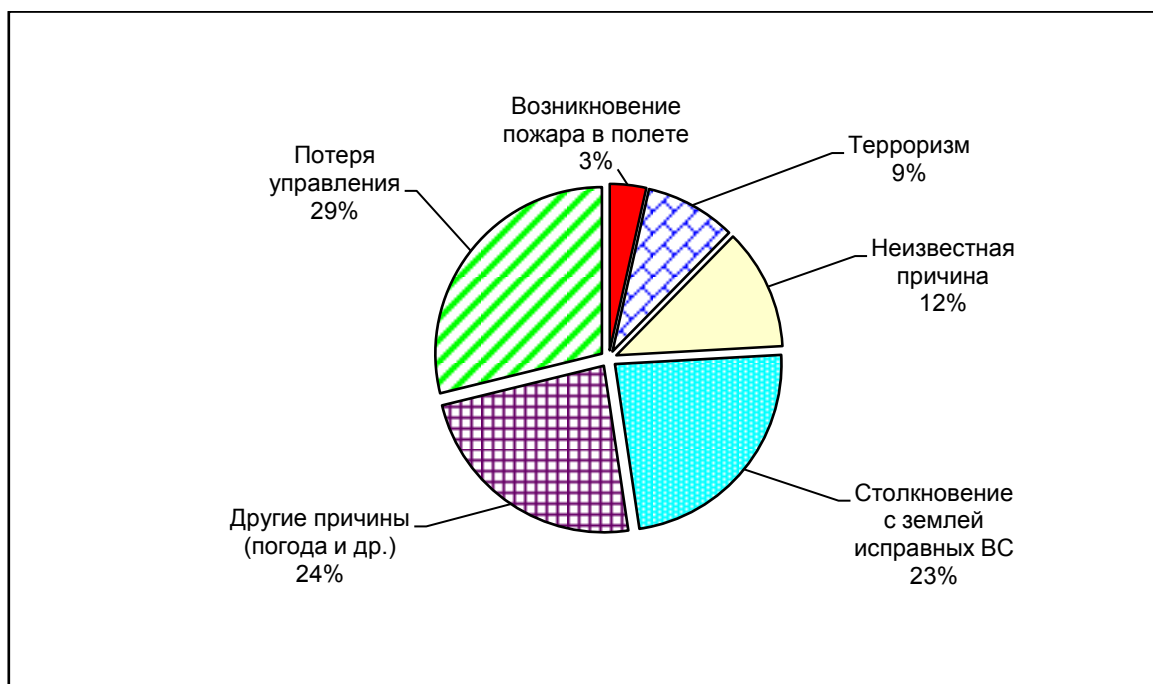


Рис.1. Причины авиакатастроф [1].

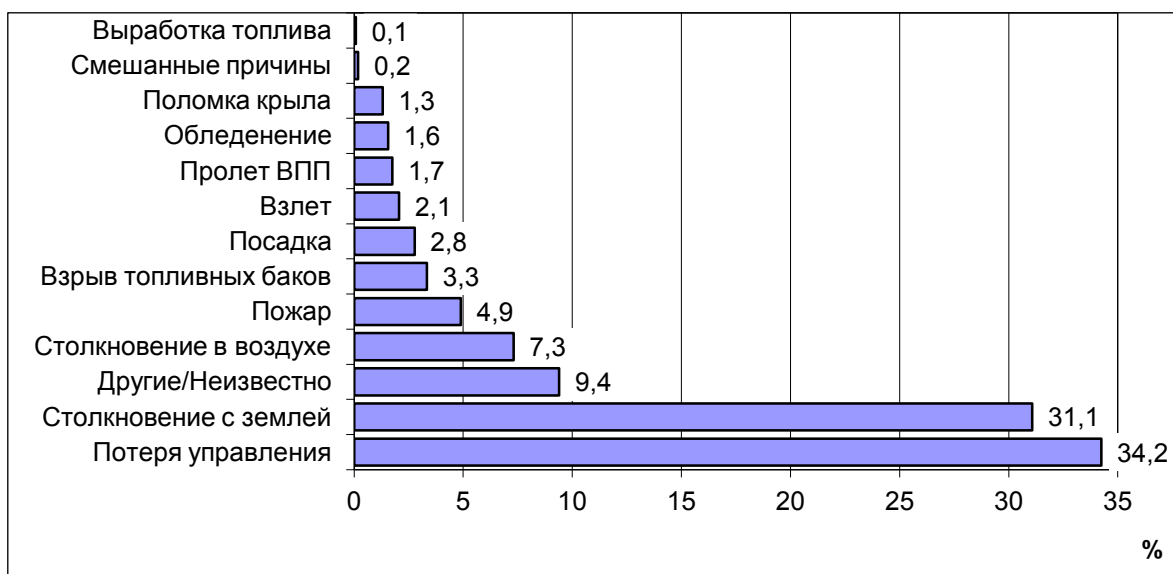


Рис.2. Распределение погибших в авиационных катастрофах по различным причинам [1].

История развития авиационных норм пожарной безопасности используемых материалов. Проблема обеспечения пожарной безопасности высокоэнергетического оборудования в целом и авиационной техники в частности является очень сложной с технической точки зрения и высокозатратной с экономической.

Развитие методов оценки пожарной безопас-

ности и требований, предъявляемых к материалам, шло одновременно с развитием науки о процессах горения и технологий, обеспечивающих создание новых, более совершенных материалов. Основные этапы развития требований пожарной безопасности для гражданских пассажирских самолетов, включенных в Федеральные (государственные) авиационные нормы России и США, приведены на Рис. 3.

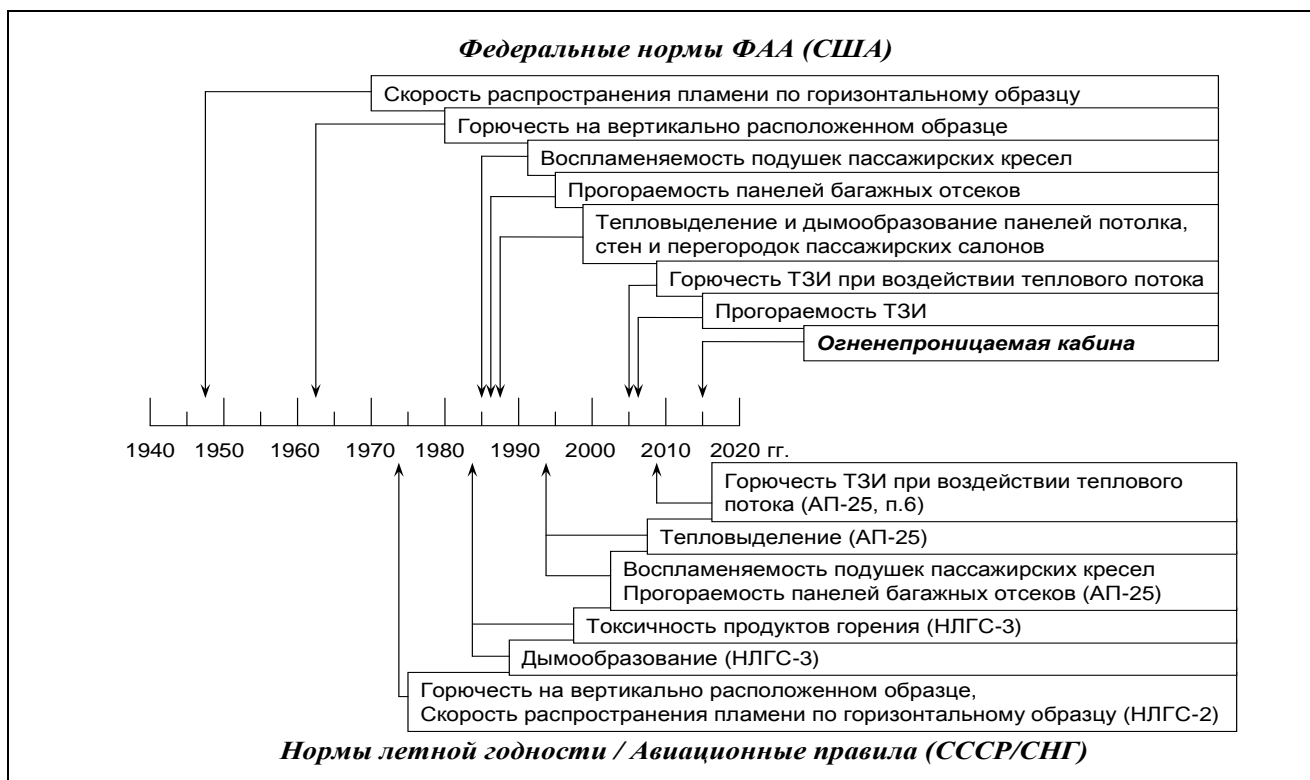


Рис.3. Основные этапы развития норм пожаробезопасности пассажирских самолетов.

Исторически первыми требованиями пожарной безопасности авиационных материалов были нормы по ограничению горючести. Сначала в США были введены требования, регламентирующие максимально допустимую скорость распространения пламени по горизонтальной поверхности, которые затем были дополнены ограничениями по допустимой продолжительности остаточного горения и длине прогорания для вертикально расположенных образцов.

В Советском Союзе испытания по оценке горючести и созданию слабо горючих материалов для авиационной отрасли были начаты в конце 60-х годов XX века. Успехи в создании ограниченно горючих (огнезащищенных) материалов позволили в 1974 году ввести во вторую редакцию отечественных норм летной годности (НЛГС-2) метод оценки и требования по горючести [2]. Данный метод моделирует воздействие малокалорийного источника огня (спички, сигареты, перегрева вследствие короткого замыкания электропроводки); в качестве источника воспламенения при проведении испытаний материалов применяется газовая лабораторная горелка Бунзена.

Использование данных ограничений позволило существенно снизить вероятность возникновения пожара на борту воздушного судна во время полета. Однако с накоплением опыта применения огнезащищенных материалов выяснилось, что многие антипирены, снижая горючесть материалов, одновременно существенно увеличивают выделение дыма и токсичных веществ. Как следствие это-

го - смертность людей при возгорании воздушного судна вызывается не столько воздействием открытого пламени, сколько токсичными газами. Кроме того, выделение большого количества дыма снижает видимость, затрудняя эвакуацию людей и способствуя возникновению паники. Данная проблема отмечалась многими экспертами авиационных служб, а необходимость принятия нормативных документов за рубежом обсуждалась еще во второй половине 1970-х г.

В 1977 году компания Boeing (а вслед за ней и Airbus Industrie) до введения государственных норм устанавливает дополнительные добровольные требования по дымообразованию к применяемым материалам [3].

В Советском Союзе в конце 1970-х годов также были начаты работы по оценке и снижению дымообразования полимерных материалов авиационного назначения. Успехи в разработке новых материалов позволили в начале 80-х годов прошлого столетия ввести в третье издание Норм летной годности гражданских самолетов СССР (НЛГС-3) требования по ограничению дымообразования, что на тот момент обеспечило более высокий уровень пожарной безопасности отечественных пассажирских самолетов по сравнению с зарубежными [4]. Данные требования были более жесткими и по сравнению с используемыми зарубежными авиационными корпорациями.

Для снижения количества людей, погибающих из-за отравления продуктами горения при по-

жаре, ВИАМ совместно с ГосНИИ ГА и НИИ гигиены труда и профессиональных заболеваний с начала 1980-х годов проводились работы по исследованию уровня токсичности и определению газового состава продуктов горения различных полимерных материалов авиационного назначения. Требования по ограничению токсичности продуктов горения также были включены в НЛГС-3.

Анализ опыта применения норм по ограничению горючести показал, что этих требований недостаточно для обеспечения безопасности пассажиров в случае возникновения очага пожара на борту, а тем более при развитии внешнего пожара в случае аварийной посадки. Во второй половине 1980-х годов в США принимается ряд поправок к FAR-25 [5-8].

При пожаре в салоне самолета основным источником дыма и токсичных газов являются подушки кресел, имеющие начинку из пенополиуретана, поэтому было принято решение повысить пожаробезопасность пассажирских авиационных кресел путем ограничения максимально допустимой потери массы при горении [5].

В грузовом отсеке сложно обнаружить на ранней стадии развития пожар, а еще сложнее его ликвидировать - поэтому были введены требования, обеспечивающие повышение огнестойкости панелей стен и потолка грузовой кабины, расположенной под пассажирским салоном [6].

Основным фактором, определяющим скорость развития очага пожара и период времени по температурной выживаемости в замкнутом пространстве, является интенсивность выделения тепла при горении. Проведенные полномасштабные эксперименты показали, что, чтобы обеспечить регламентируемый нормами период эвакуации в 90 секунд, удельное выделение тепла не должно превышать 65 кВт/м^2 . Поскольку при пожаре наиболее интенсивное горение происходит в верхней части объема, то требования по ограничению тепловыделения относятся к панелям стен, потолка и перегородок [7, 9]. В 1988 году в Федеральные авиационные нормы США были введены требования по ограничению дымообразования [8], которые, однако, относились только к панелям стен, потолка и перегородок пассажирского салона и являлись значительно более мягкими, чем действующие в тот период нормы НЛГС-3 в СССР, а также нормативные документы корпораций Boeing и Airbus.

В начале 1990-х годов в России выполнялись работы по гармонизации отечественных авиационных норм с зарубежными, в результате чего были введены в действие Авиационные правила. После перехода на новые нормы требования по ограничению токсичности продуктов горения были отменены, а по дымообразованию – существенно смягчены, но одновременно на территории России и стран СНГ были введены требования по ограничению тепловыделения для материалов панелей пассажир-

ских салонов, горючести подушек пассажирских кресел, огнестойкости панелей багажных отсеков.

Внешний контур современных транспортных пассажирских самолетов (фюзеляж, крыло) выполняется из алюминиевых сплавов, в условиях пожара не горящих и не распространяющих пламя по поверхности. Поэтому в настоящее время требования пожарной безопасности к материалам внешнего контура не предъявляются. Однако обшивка из алюминиевого сплава под действием высокой температуры пламени быстро (в течение 30...240 с) прогорает. Чтобы предотвратить проникновение пламени от горящего топлива внутрь пассажирского салона, в авиационные нормы были введены повышенные требования к материалам тепло- и звукоизоляции (ТЗИ) фюзеляжа [10] по нераспространению пламени даже при воздействии теплового потока и огнестойкости (отсутствию сквозного прогорания и низкой теплопроводности при воздействии мощного высокотемпературного пламени). Однако эти нормы полностью не решают проблему огнезащиты от проникновения внешнего пламени в пассажирский салон, так как при пожаре под воздействием высоких температур происходит деформация несущих металлических конструкций и механическое разрушение матов ТЗИ.

Современное состояние нормативно-методической базы. В настоящее время требования пожарной безопасности к материалам для авиационной техники изложены в следующих отечественных нормативных документах:

АП-ОЛС – нормы летной годности очень легких самолетов [11];

АП-23 – нормы летной годности гражданских легких самолетов [12];

АП-25 – нормы летной годности самолетов транспортной категории [13];

АП-27 – нормы летной годности винтокрылых аппаратов нормальной категории [14];

АП-29 – нормы летной годности винтокрылых аппаратов транспортной категории [15];

АП-33 – нормы летной годности двигателей воздушных судов [16].

Зарубежными нормативными документами аналогичного назначения являются нормы Федерального авиационного регистра (FAR) США [17] и Европейский сертификационный базис (CS) [18].

Требования к материалам и методы испытаний различаются в зависимости от вида авиационной техники и функционального назначения материала. В пункте 853 Авиационных правил излагаются требования к материалам внутренней отделки кабин, в пункте 854 – к пожарной защите туалетов, в пункте 855 – к багажно-грузовым отсекам, в пункте 856 – к тепловой и акустической изоляции. Ряд пунктов (859, 863, 865, 867, 869 и др.) касается обеспечения противопожарной защиты других частей авиационной техники.

Для оценки материалов и элементов конструкций авиационного назначения используются следующие методы. (Необходимо учитывать, что при совпадении терминов для авиационной отрасли методы испытаний, используемое оборудование, контролируемые параметры отличаются от методов, применяемых для квалификационных испытаний материалов строительного назначения).

1. Оценка стойкости к воспламенению от пламени, способности распространять пламя и сопротивляться сквозному прогоранию (обычно для краткости называется «горючесть»). Включает в себя 6 разновидностей, различающихся размерами и ориентацией образца, продолжительностью экспонирования, контролируемыми параметрами и допустимыми величинами.

2. Воспламеняемость подушек кресел.

3. Оценка способности облицовки грузовых отсеков ограничивать распространение пламени («прогораемость»).

4. Тепловыделение при горении.

5. Дымообразование.

6. Воспламеняемость материалов тепловой/акустической изоляции и распространение пламени по ним.

7. Определение стойкости материалов тепловой/акустической изоляции к сквозному прогоранию (в зарубежных авиационных нормах FAR-25 и CS-25).

8. Огнестойкость и огнепроницаемость.

В зависимости от вида авиационной техники и количества перевозимых пассажиров различаются требования по видам испытаний. Для легких самолетов, всех типов вертолетов и транспортных самолетов с вместимостью не более 20 пассажиров требуется оценка только по характеристикам горючести (метод 1) и огнепроницаемости (метод 8). Наиболее жесткие требования предъявляются к самолетам транспортной категории (АП-25).

На рис. 4 и в поясняющей таблице приведены обобщенные требования к материалам в зависимости от их функционального назначения и методы их оценки.

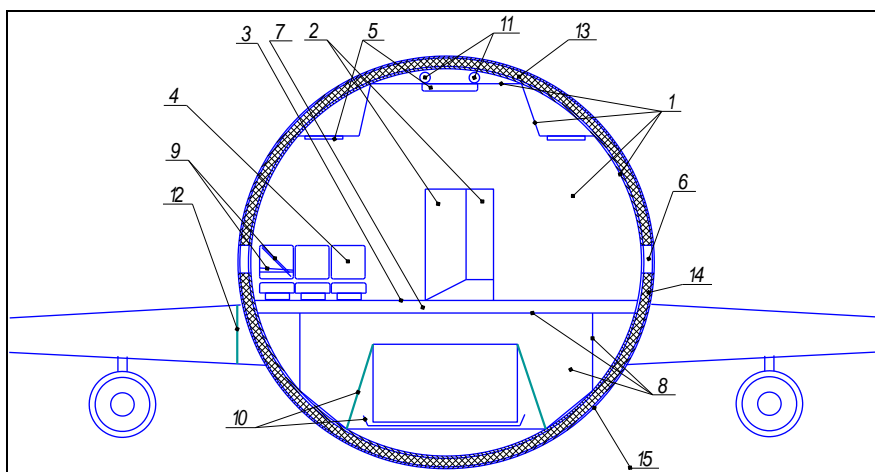


Рис. 4. Схема самолета с указанием основных функциональных типов материалов, различающихся требованиями пожарной безопасности (номера сносок соответствуют номерам пунктов в таблице).

Таблица

Требования пожарной безопасности к авиационным материалам различного функционального назначения для самолетов транспортной авиации (АП-25)

№ п/п	Назначение материала / Наименование элемента конструкции	Пункт Авиационных правил	Вид испытаний	Допустимая характеристика
1.	В местах постоянного пребывания пассажиров: – внутренние панели потолка и стен, – перегородки, – поверхности буфетов, – большие шкафы	п.853, Приложение F Части I, IV, V	Горючесть (вертикально): – продолжительность остаточного горения, – длина прогорания	$\tau_{ост} \leq 15$ с, $l_{пр} \leq 152$ мм
			Тепловыделение: – максимальная интенсивность выделения тепла, – общее количество выделившегося	≤ 65 кВт/м ² ,

			тепла за 2 минуты	$\leq 65 \text{ кВт}\cdot\text{мин}/\text{м}^2$
			Дымообразование: – максимальная оптическая плотность за 4 минуты	≤ 200
2.	То же, но вне мест постоянного пребывания пассажиров (при условии изоляции от основной пассажирской кабины посредством дверей)	п.853, Приложение F Часть I	Горючесть (вертикально)	$\tau_{\text{ост}} \leq 15 \text{ с},$ $l_{\text{пр}} \leq 152 \text{ мм}$
3.	Покрyтия пола, текстильные материалы, кожа, материалы подносов и буфетов, литые и термоформованные детали	п.853, Приложение F Часть I	Горючесть (вертикально)	$\tau_{\text{ост}} \leq 15 \text{ с},$ $l_{\text{пр}} \leq 203 \text{ мм}$
4.	Подушки пассажирских кресел	п.853, Приложение F Части I, II	Горючесть (вертикально)	$\tau_{\text{ост}} \leq 15 \text{ с},$ $l_{\text{пр}} \leq 203 \text{ мм}$
			Потеря массы подушек при воздействии пламени	$< 10 \%$
5.	Осветительные плафоны, табло из пластика	п.853, Приложение F Часть I	Горючесть (горизонтально – скорость распространения пламени)	$\leq 63,5 \text{ мм}/\text{мин}$
6.	Материалы остекления	п.853, Приложение F Часть I	Горючесть (скорость распространения пламени)	$\leq 63,5 \text{ мм}/\text{мин}$
7.	Панели пола пассажирской кабины и багажно-грузового отсека	п.853, 855 Приложение F Часть I	Горючесть (вертикально)	$\tau_{\text{ост}} \leq 15 \text{ с},$ $l_{\text{пр}} \leq 203 \text{ мм}$
8.	Панели стен и потолка багажно-грузового отсека	п.855, Приложение F Части I, III	Горючесть (вертикально)	$\tau_{\text{ост}} \leq 15 \text{ с},$ $l_{\text{пр}} \leq 203 \text{ мм}$
			Горючесть (под углом 45°)	$\tau_{\text{ост}} \leq 15 \text{ с},$ нет сквозного прогара
			Прогораемость при воздействии пламени	Отсутствует проникновение пламени сквозь образец, температура с тыльной стороны $\leq 205 \text{ }^\circ\text{C}$
9.	Привязные и пристяжные ремни	п.853, Приложение F Часть I	Горючесть (горизонтально – скорость распространения пламени)	$\leq 63,5 \text{ мм}/\text{мин}$
10.	Оборудование для крепления груза и багажа	п.855, Приложение F Часть I	Горючесть (горизонтально – скорость распространения пламени)	$\leq 63,5 \text{ мм}/\text{мин}$
11.	Материалы системы кондиционирования воздуха	п.853, Приложение F Часть I	Горючесть (вертикально)	$\tau_{\text{ост}} \leq 15 \text{ с},$ $l_{\text{пр}} \leq 203 \text{ мм}$
12.	Огнепреграждающие перегородки, пожароопасные зоны	п.п.863, 865, 1191, 1193	Огнестойкость и огнепроницаемость при воздействии пламени	Отсутствует сквозное прогорание
13.	Тепло- и звукоизоляция фюзеляжа	п.856, Приложение F Часть VI	Горючесть при тепловом потоке	$\tau_{\text{ост}} \leq 3 \text{ с},$ $l_{\text{пр}} \leq 51 \text{ мм}$
14.	Тепло- и звукоизоляция нижней части фюзеляжа	п.856, Приложение F Часть VII	Прогораемость при воздействии пламени	Тепловой поток через образец $\leq 22,7 \text{ кВт}/\text{м}^2$
15.	Внешняя обшивка фюзеляжа, крыло (вне зоны воздействия горячих продуктов выхлопа от двигателя)	В настоящее время требования по пожарной безопасности к материалам не предъявляются		

Краткое описание используемых методов оценки пожарной опасности полимерных материалов авиационного назначения.

1. Методы оценки горючести. (Приложение F часть I)

Подробное описание оборудования, методик испытаний, контролируемых параметров и допустимых значений приведено в Приложении F часть I АП-25. Как уже отмечалось, имеется несколько вариаций. Проведение испытаний возможно как в единой камере, обеспечивающей различную ориентацию образцов, так и в нескольких испытательных камерах.

1.1. Вертикальная ориентация образца. Образец зажимается в U-образную металлическую рамку, открытую с нижней стороны, и подвергается снизу воздействию пламени газовой лабораторной (Бунзена или Тиррилла) горелки. Размеры открытой части образца составляют не менее 50 мм (по ширине) на 305 мм (по высоте). Испытательная камера аналогична описанной в стандарте ANSI/ASTM F501, ASTM D6413 и ICAO Technical Manual Doc. 9051-AN/896. Метод близок к широко известному методу UL-94, но отличается размерами образцов и продолжительностью воздействия пламени. Как видно из таблицы, в зависимости от функционального назначения материала, продолжительность экспозиции пламенем составляет 12 или 60 с, высота пламени – 38 мм. Нормируемые показатели – продолжительность остаточного (самостоятельного) горения (тления), длина прогорания, наличие и продолжительность горения падающих капель.

1.2. Горизонтальная ориентация образца – определение скорости распространения пламени. Образцы, размером аналогичные используемым при вертикальных испытаниях, зажимаются в U-образную металлическую рамку и поджигаются в течение 15 с с открытого конца. В процессе испытаний контролируется время пересечения пламенем меток, по которому рассчитывается средняя скорость распространения пламени. Метод аналогичен ГОСТ 25076-81 (ISO 3795—76), ASTM D5132. В зависимости от назначения материала максимально допустимая скорость распространения пламени составляет 63 или 102 мм/мин.

1.3. Испытания под углом 45° – определение сопротивляемости сквозному проникновению пламени для материалов багажных отсеков. Используемое оборудование близко к ASTM D1360. Образцы с четырех сторон зажимаются в квадратную металлическую рамку, открытая поверхность составляет 203×203 мм. Пламя газовой лабораторной горелки воздействует в течение 30 с в геометрический центр образца. Контролируются следующие параметры: продолжительность остаточного горения (тления) и наличие проникновения пламени сквозь образец.

1.4. Горизонтальная ориентация образца – определение устойчивости к воздействию пламени одеял в четыре сложения. Размер образцов и держателя – тот же, что и для испытаний под углом 45°. Продолжительность воздействия пламенем горелки – 12 с. Контролируемые параметры – продолжительность остаточного горения, продолжительность горения падающих капель.

1.5. Испытания под углом 60° к горизонту – определение горючести изоляции электропроводов. Длина образца – 762 мм, продолжительность воздействия пламенем горелки – 30 с.

2. Оценка воспламеняемости подушек кресел (Приложение F часть II).

Проводятся испытания элементов, конструктивно подобных пассажирским креслам. Размеры сиденья 457×508×102 мм, спинки 457×635×51 мм. На комплект подушек сбоку в горизонтальном направлении воздействует пламя керосиновой горелки с номинальным расходом топлива 8,5 л/час, температура пламени 1038 °С, тепловой поток на образец 11,9 Вт/см², продолжительность воздействия пламени – 2 мин. Контролируемые параметры – потеря массы, длина обугливания.

3. Стойкость к сквозному прогоранию багажно-грузовых отсеков (Приложение F часть III).

Проводятся испытания элементов, конструктивно подобных облицовочным панелям стенок и потолка. Размер образцов 406×610 мм. Применяется та же, что и в предыдущем методе, керосиновая горелка, но отрегулированная на температуру 927 °С, тепловой поток, воздействующий на образец, 9,1 Вт/см². Продолжительность экспозиции пламенем составляет 5 мин. В ходе эксперимента не должно быть зафиксировано сквозного проникновения пламени и повышения температуры над поверхностью образца свыше 205 °С.

4. Определение тепловыделения материалов кабин при воздействии теплового излучения (Приложение F часть IV).

Для измерения количества выделяемого при горении тепла используется проточный калориметр типа OSU (ASTM E906, конфигурация прибора А). Испытаниям подвергаются образцы в вертикальном положении размером 150×150 мм, на которые действует тепловой поток интенсивностью 35 кВт/м². Через прибор с постоянным расходом продувается воздух (40 л/с). Образец поджигается снизу пламенем пилотной газовой горелки, продукты термодеструкции дожигаются в пламени верхней многорожковой горелки. Температура на входе в прибор и на выходе из него контролируется многоспайным термодатчиком (термопары аналогичные типу ХА). По изменению температуры отходящих газов на основании калибровочного коэффициента рассчитывается интенсивность выделения тепла в каждый момент времени с интервалом в 1 с. Продолжительность эксперимента составляет 5 мин. Нормируемые показатели: максимальная интенсивность

выделения тепла ($\text{кВт}/\text{м}^2$) и общее количество выделившегося тепла за первые две минуты ($\text{кВт}\cdot\text{мин}/\text{м}^2$). Получаемые данные, как правило, не коррелируют с данными, получаемыми в проточном калориметре другого типа, широко распространенного в настоящее время в мировой практике для определения выделения тепла при горении (cone-calorimeter по ASTM E1354, использующий для расчетов определения количества выделившегося тепла принцип потребления кислорода при горении). Подробное сопоставление различных приборов для определения тепловыделения приведено, например, в [19].

5. Определение выделения дыма материалами отделки (Приложение F часть V). Проведение испытаний по определению дымообразующей способности полимерных материалов авиационного назначения проводится согласно ГОСТ 24632-81 (за рубежом – ASTM F814), конструкция дымовой камеры аналогична ASTM E662, NFPA 258. При проведении испытаний используются образцы размером 75×75 мм, тепловой поток, падающий на образец, составляет $25 \text{ кВт}/\text{м}^2$. Как правило, испытания проводятся в режимах «горение» и «пиролиз» (отечественные старые нормы НЛГС-3, зарубежные нормы фирм Boeing, Airbus Industrie, Bombardier), хотя согласно требованиям федеральных (государственных) норм (АП, FAR, CS) требуется проведение испытаний только в режиме «горение». Нормируемые показатели – оптическая плотность дыма, отнесенная к экспонируемой площади образца за 4 мин (все авиационные нормы), 1,5 мин (нормы зарубежных авиакомпаний), 2 мин и максимально достигаемая в процессе эксперимента (отечественные нормы НЛГС-3). Результаты испытаний по ГОСТ 12.1.044-89 п.4.18, пересчитанные с удельной массы на удельную поверхность, не всегда соответствуют результатам по ГОСТ 24632-81, что объясняется различиями в конструкциях испытательных камер и, соответственно, условиями экспонирования образцов.

6. Определение воспламеняемости и распространения пламени по материалам тепловой/акустической изоляции (Приложение F часть VI). Используемое оборудование аналогично описанному в ГОСТ Р51032-97 и ГОСТ 30444-97, ISO 9239.2 и ASTM E648, ASTM E970 за исключением использованной горелки. Для поджигания используется не многорожковая горелка (согласно ASTM), а поворотная горелка с диаметром факела пламени около 10 мм и длиной факела 127 мм. Тепловой поток на образец в зоне воздействия пламени должен составлять $17 \text{ кВт}/\text{м}^2$. Для испытаний берутся образцы размером 318×584 мм (например, мягкие стекломаты) или 292×584 мм (например, жесткие пены). Контролируемые параметры: длина распространения пламени и продолжительность остаточного горения.

7. Определение стойкости к сквозному прогоранию матов тепловой/акустической изо-

ляции (Приложение F часть VII к зарубежным авиационным нормам FAR и CS). При проведении испытаний используется керосиновая горелка аналогичная описанной в п.п.2 и 3. Температура пламени горелки должна составлять $1038 \text{ }^\circ\text{C}$, тепловой поток, воздействующий на образец, $18,2 \text{ Вт}/\text{см}^2$. Испытания проводятся при ориентации образца под углом 60° к горизонту, пламя воздействует с нижней стороны. Образцы не должны иметь сквозное прогорание, тепловой поток, проходящий через образец, не должен превышать $2,27 \text{ Вт}/\text{см}^2$.

8. Определение огнестойкости и огнестойкости. Испытание представляет собой воздействие пламени газовой или керосиновой горелки с температурой $1100 \text{ }^\circ\text{C}$. Описание методики приведено в Методах определения соответствия требованиям авиационных норм (МОН). Длительность воздействия пламени составляет 5 мин (огнестойкость) или 15 мин (огнепроницаемость). В ходе испытаний не должно быть зарегистрировано сквозного проникновения пламени.

Перспективы развития норм пожаробезопасности для авиационных материалов. Для повышения энергоэффективности авиоперевозок в настоящее время при изготовлении всего внешнего контура широкофюзеляжной авиационной техники (фюзеляжа и крыльев) планируется переход от алюминиевых сплавов к полимерным композиционным материалам (углепластикам). Новые самолеты смогут перевозить одновременно до 1000 и более пассажиров. Обеспечение пожаробезопасности такого количества людей требует перехода на качественно новый уровень характеристик пожаробезопасности всего изделия и, в частности, огнестойкости внешнего контура.

Согласно программе работ FAA, в США к 2015 году должен быть создан пожаробезопасный огнепроницаемый фюзеляж [20]. В настоящее время в мировом сообществе ведутся работы по выбору методов, критериев оценки и обоснованию требований пожаробезопасности к материалам и конструкции внешнего контура авиационной техники. Аналогичные работы выполняются и в России [21-23].

Методы испытаний материалов (элементов конструкций внешнего контура) должны будут описывать реально возможные условия при внешнем пожаре от разлившегося топлива, а критерии оценки – учитывать реально достижимый (в том числе экономически обоснованный) уровень свойств. При этом не должно произойти снижения характеристик безопасности по сравнению с ныне используемыми материалами (алюминиевыми сплавами). Анализ возможных (перспективных) методов оценки пожаробезопасности материалов внешнего контура – тема отдельной большой статьи. Необходимо только отметить, что требования к пожаробезопасности внешнего контура (несколько различных или один комплексный метод) должны, как минимум, регламентировать сопротивление

сквозному прогоранию, распространение пламени по поверхности в зависимости от величины теплового потока, выделение дыма и токсичных веществ внутрь самолета.

По мере накопления знаний о законах развития пожара, разработки новых материалов и совершенствования технологий их производства происходит и совершенствование требований, норм и методов оценки пожарной безопасности материалов. В настоящее время Федеральным авиационным агентством США (FAA) запланировано введение новых и существенная переработка имеющихся норм по авиационной пожаробезопасности (методов и критериев испытаний). В ближайшие годы планируется вести работу по следующим 12 направлениям [24]:

1. Кресла – испытания керосиновыми горелками подушек.
2. Кресла – испытания структур из ПКМ и металлических сплавов.
3. Пожаробезопасность грузовых самолетов.
4. Испытания с использованием проточного калориметра OSU.
5. Испытания при помощи горелки Бунзена.

Библиографический список

1. Mouritz, A.P., Gibson, A.G. Fire Properties of Polymer Composite Materials / A.P. Mouritz, A.G. Gibson // Springer, Dordrecht, The Netherlands. – 2006. – 398 p.
2. Нормы летной годности гражданских самолетов СССР. – 2-е изд. – ЦАГИ, 1974. – 344 с.
3. **ATS 1000.001. Technical Specification. Fire-Smoke Test Specification** // Airbus Industrie, 1979. – 54 p.
4. Нормы летной годности гражданских самолетов СССР – 3-е изд. – ЦАГИ, 1984. – 464 с.
5. **Amendment 25-59, Effective November 26, 1984** // Federal Register. – V.49. – Oct 26. – 1984. – P.43188
6. **Amendment 25-60, Effective June 16, 1986 / Department of Transportation. Federal Aviation Administration. 14 CFR Part 25 Docket № 24185** // Federal Register. – V.51. – May 16. – 1986. – P.18236-18247
7. **Amendment 25-61, Effective August 20, 1986 / Department of Transportation. Federal Aviation Administration. 14 CFR Part 25 Docket № 24594** // Federal Register. – V.51. – July 21. – 1986. – P.26206-26221; August 7, 1986 P.28322
8. **Amendment 25-66, Effective September 26, 1988 / Department of Transportation. Federal Aviation Administration. 14 CFR Part 25** // Federal Register. – V.53. – N 187. – September 27. 1988. – P.37542-37671
9. **Amendment 25-83, Effective March 6, 1995 / Department of Transportation. Federal Aviation Administration. 14 CFR Part 25 Docket № 26192** // Federal Register. V.60. №22. February 2. 1995. P.6616-6629
10. **Amendment 25-110, Effective September 2, 2003 / Department of Transportation. Federal Aviation Administration. 14 CFR Part 25 Docket № FAA-2000-7909** // Federal Register. – V.68. – N 147. – July 31. – 2003. – P.45046-45084
11. **Авиационные правила. Часть ОЛС. Нормы летной годности очень легких самолетов** // Межгосударственный авиационный комитет. ОАО «Авиаиздат», 2006. - 100 с.
12. **Авиационные правила. Часть 23. Нормы летной годности гражданских легких самолетов** // Межгосударственный авиационный комитет. ОАО «Авиаиздат», 2000. - 145 с.
13. **Авиационные правила. Часть 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории** // Межгосударственный авиационный комитет. ОАО «Авиаиздат», 2009. - 267 с.
14. **Авиационные правила. Часть 27. Нормы летной годности винтокрылых аппаратов нормальной категории** //

6. Метод радиационной панели для ТЗИ.
 7. Прогораемость матов ТЗИ.
 8. Метод радиационной панели для трубопроводов.
 9. Метод радиационной панели для электропроводов.
 10. Метод радиационной панели для обшивок фюзеляжа.
 11. Испытания эвакуационных трапов.
 12. Измерение теплового потока.
- В России также запланированы и успешно претворяются в жизнь научные исследования по разработке новых более безопасных авиационных материалов и методов их оценки, выполнению квалификационных испытаний [25-35].

Учет законов развития пожара, возникающих опасных факторах, грамотное нормирование требований к материалам и элементам конструкций на их основе способны ослабить или предотвратить развитие очага пожара и, соответственно, повысить безопасность пассажиров и экипажа во время полета и их выживаемость в случае летного происшествия, не дать ему перерасти в катастрофу с человеческими жертвами.

References

1. Mouritz, A.P., Gibson, A.G. Fire Properties of Polymer Composite Materials / A.P. Mouritz, A.G. Gibson // Springer, Dordrecht, The Netherlands. – 2006. – 398 p.
2. **Normyi letnoy godnosti grazhdanskih samoletov SSSR.** – 2-e izd. – TsAGI, 1974. – 344 s.
3. **ATS 1000.001. Technical Specification. Fire-Smoke Test Specification** // Airbus Industrie, 1979. – 54 p.
4. **Normyi letnoy godnosti grazhdanskih samoletov SSSR** – 3-e izd. – TsAGI, 1984. – 464 s.
5. **Amendment 25-59, Effective November 26, 1984** // Federal Register. – V.49. – Oct 26. – 1984. – P.43188
6. **Amendment 25-60, Effective June 16, 1986 / Department of Transportation. Federal Aviation Administration. 14 CFR Part 25 Docket № 24185** // Federal Register. – V.51. – May 16. – 1986. – P.18236-18247
7. **Amendment 25-61, Effective August 20, 1986 / Department of Transportation. Federal Aviation Administration. 14 CFR Part 25 Docket № 24594** // Federal Register. – V.51. – July 21. – 1986. – P.26206-26221; August 7, 1986 P.28322
8. **Amendment 25-66, Effective September 26, 1988 / Department of Transportation. Federal Aviation Administration. 14 CFR Part 25** // Federal Register. – V.53. – N 187. – September 27. 1988. – P.37542-37671
9. **Amendment 25-83, Effective March 6, 1995 / Department of Transportation. Federal Aviation Administration. 14 CFR Part 25 Docket № 26192** // Federal Register. V.60. №22. February 2. 1995. P.6616-6629
10. **Amendment 25-110, Effective September 2, 2003 / Department of Transportation. Federal Aviation Administration. 14 CFR Part 25 Docket № FAA-2000-7909** // Federal Register. – V.68. – N 147. – July 31. – 2003. – P.45046-45084
11. **Aviatsionnyie pravila. Chast OLS. Normyi letnoy godnosti ochen legkih samoletov** // Mezghosudarstvennyiy aviatsionnyiy komitet. OAO «Aviaizdat», 2006. - 100 s.
12. **Aviatsionnyie pravila. Chast 23. Normyi letnoy godnosti grazhdanskih legkih samoletov** // Mezghosudarstvennyiy aviatsionnyiy komitet. OAO «Aviaizdat», 2000. - 145 s.
13. **Aviatsionnyie pravila. Chast 25. Normyi letnoy godnosti samoletov transportnoy kategorii** // Mezghosudarstvennyiy aviatsionnyiy komitet. OAO «Aviaizdat», 2009. - 267 s.

Межгосударственный авиационный комитет. ОАО «Авиаиздат», 2000. - 102 с.

15. **Авиационные правила. Часть 29. Нормы летной годности винтокрылых аппаратов транспортной категории** // Межгосударственный авиационный комитет. ОАО «Авиаиздат», 2003. - 130 с.

16. **Авиационные правила. Часть 33. Нормы летной годности двигателей воздушных судов** // Межгосударственный авиационный комитет. ОАО «Авиаиздат», 2012. - 78 с.

17. **Federal Register. 14 CFR Part 25 – Airworthiness standards. Transport category airplanes // Federal Aviation Administration** // http://www.faa.gov/regulations_policies/faa_regulations; <http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx> (дата обращения 15 июля 2014 г.)

18. **Certification Specifications for Large Aeroplanes – CS-25** // ED Decision 2003/2/RM Final 17/10/2003, / European Aviation Safety Agency. – 2003. – 473 p.

19. **Барботько, С.Л.** Об определении теплот сгорания и тепловыделения при горении полимерных материалов / С.Л. Барботько, Р.М. Асеева, Б.Б. Серков, А.Б. Сивенков, Е.Ю. Круглов // Пожаровзрывобезопасность. – Т. 21. – 2012. – N 5. – С.25-34.

20. **Sarkos, G.** Evolution of FAA Fire Safety R&D Over the Years // The Fifth Triennial Fire & Cabin Safety Research Conference, Atlantic City, NJ, October 29 – November 1. 2007 / http://www.fire.tc.faa.gov/2007Conference/files/General_Fire/TueAM/SarkosFAAFire/SarkosFAAFirePres.pdf – (дата обращения 17 июля 2014 г.)

21. **Барботько, С.Л., Нагаев, А.С.** К вопросу об обеспечении пожарной безопасности внешнего контура самолетов / С.Л. Барботько, А.С. Нагаев // Сб. докладов VIII науч. конф. по гидроавиации «Гидроавиасалон-2010». Часть II. – М.: ЦАГИ, 2010. – С. 107-110.

22. **Барботько, С.Л.** Оценка пожарной безопасности полимерных композиционных материалов для внешнего контура авиационной техники / С.Л. Барботько, Е.Н. Шуркова, О.С. Вольный, Н.С. Скрылев //Авиационные материалы и технологии. – 2013. – № 1. – С. 56–59.

23. **Барботько, С.Л., Шуркова, Е.Н.** О пожарной безопасности материалов, используемых для изготовления внешнего контура самолетов / С.Л. Барботько, Е.Н. Шуркова // Пожаровзрывобезопасность. – 2011. – Т. 20. – № 10. – С. 19–24.

24. **Marker, T.** Update Handbook Chapters // International Aircraft Materials Fire Test Working Group, Cologne, Germany, June 23, 2010 / <http://www.fire.tc.faa.gov/pdf/materials/June10Meeting/marker-0610-Part25Update.pdf> – (дата обращения 17 июля 2014 г.)

25. **Каблов, Е.Н.** Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года / Е.Н. Каблов // Авиационные материалы и технологии. -2012. – № 4. – С. 7–17.

26. **Каблов, Е.Н.** ВИАМ: Продолжение пути / Е.Н. Каблов // Наука в России. – 2012. – № 3. – С. 36-44.

27. **История авиационного материаловедения. ВИАМ – 80 лет: Годы и люди** / Под общ. ред. Е.Н. Каблова. – М.: ВИАМ, 2012. – С. 279–299; 349–372; 391–396.

28. **Barbotko, S.L.** Ways of providing fire safety of aviation materials // Russian Journal of General Chemistry. – 2011. – Т. 81. – № 5. – С.1068–1074.

29. **Шуркова, Е.Н.** Исследование возможности снижения тепловыделения при горении композиционного материала путем изменения его структуры / Е.Н. Шуркова, О.С. Вольный, Т.Ф. Изотова, С.Л. Барботько //Авиационные материалы и технологии. – 2012. – № 1. – С. 27–30.

30. **Барботько, С.Л.** Оценка пожарной безопасности полимерных композиционных материалов авиационного назначения / С.Л. Барботько, В.Н. Кириллов, Е.Н. Шуркова //Авиационная промышленность. – 2013. – № 2. – С. 55-58.

31. **Барботько, С.Л.** Пожаробезопасность авиационных материалов / С.Л. Барботько //Авиационные материалы и технологии. – 2012. – № 4. – С. 431–439.

32. **Бейдер, Э.Я., Петрова Г.Н., Изотова Т.Ф., Барботько С.Л.** Стеклопластики на термопластичной матрице / Э.Я. Бейдер, Г.Н. Петрова, Т.Ф. Изотова, С.Л. Барботько //Труды ВИАМ, 2013. – № 7.

14. **Авиационные правила. Часть 27. Нормы летной годности винтокрылых аппаратов нормальной категории** // Межгосударственный авиационный комитет. ОАО «Авиаиздат», 2000. - 102 с.

15. **Авиационные правила. Часть 29. Нормы летной годности винтокрылых аппаратов транспортной категории** // Межгосударственный авиационный комитет. ОАО «Авиаиздат», 2003. - 130 с.

16. **Авиационные правила. Часть 33. Нормы летной годности двигателей воздушных судов** // Межгосударственный авиационный комитет. ОАО «Авиаиздат», 2012. - 78 с.

17. **Federal Register. 14 CFR Part 25 – Airworthiness standards. Transport category airplanes // Federal Aviation Administration** // http://www.faa.gov/regulations_policies/faa_regulations; <http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx> (дата обращения 15 июля 2014 г.)

18. **Certification Specifications for Large Aeroplanes – CS-25** // ED Decision 2003/2/RM Final 17/10/2003, / European Aviation Safety Agency. – 2003. – 473 p.

19. **Barbotko, S.L.** Ob opredelenii te-plot sgoraniya i teplovyyideleniya pri gorenii polimernykh materialov / S.L. Barbotko, R.M. Aseeva, B.B. Serkov, A.B. Sivenkov, E.Yu. Kruglov // Pozharovzryivobezopasnost. – Т. 21. – 2012. – N 5. – С.25-34.

20. **Sarkos, G.** Evolution of FAA Fire Safety R&D Over the Years // The Fifth Triennial Fire & Cabin Safety Research Conference, Atlantic City, NJ, October 29 – November 1. 2007 / http://www.fire.tc.faa.gov/2007Conference/files/General_Fire/TueAM/SarkosFAAFire/SarkosFAAFirePres.pdf – (дата обращения 17 июля 2014 г.)

21. **Barbotko, S.L., Nagaev, A.S.** K voprosu ob obespechenii pozhar moy bezopasnosti vneshnego kontura samoletov / S.L. Barbotko, A.S. Nagaev // Sb. dokladov VIII nauch. konf. po gidroaviatsii «Gidroaviasalon-2010». Chast II. – М.: TsAGI, 2010. – С. 107-110.

22. **Barbotko, S.L.** Otsenka pozhar moy bezopasnosti polimernykh kompozitsionnykh materialov dlya vneshnego kontura aviatsionnoy tekhniki / S.L. Barbotko, E.N. Shurkova, O.S. Volnyiy, N.S. Skrylev //Aviatsionnyie materialy i tehnologii. – 2013. – № 1. – С. 56–59.

23. **Barbotko, S.L., Shurkova, E.N.** O pozhar moy bezopasnosti materialov, ispolzuemykh dlya izgotovleniya vneshnego kontura samoletov / S.L. Barbotko, E.N. Shurkova // Pozharov-zryivobezopasnost. – 2011. – Т. 20. – № 10. – С. 19–24.

24. **Marker, T.** Update Handbook Chapters // International Aircraft Materials Fire Test Working Group, Cologne, Germany, June 23, 2010 / <http://www.fire.tc.faa.gov/pdf/materials/June10Meeting/marker-0610-Part25Update.pdf> – (дата обращения 17 июля 2014 г.)

25. **Kablov, E.N.** Strategicheskie napravleniya razvitiya materialov i tehnologii ih pererabotki na period do 2030 goda / E.N. Kablov // Aviatsionnyie materialy i tehnologii. -2012. – № 4. – С. 7–17.

26. **Kablov, E.N.** VIAM: Prodolzhenie pu-ti / E.N. Kablov // Nauka v Rossii. – 2012. – № 3. – С. 36-44.

27. **Istoriya aviatsionnogo materialovedeniya. VIAM – 80 let: Gody i lyudi** / Pod obsch. red. E.N. Kablova. – М.: VIAM, 2012. – С. 279–299; 349–372; 391–396.

28. **Barbotko, S.L.** Ways of providing fire safety of aviation materials // Russian Journal of General Chemistry. – 2011. – Т. 81. – № 5. – С.1068–1074.

29. **Shurkova, E.N.** Issledovanie voz-mozhnosti snizheniya teplovyyideleniya pri gorenii kompozitsionnogo materiala putem izmeneniya ego struktury / E.N. Shurkova, O.S. Volnyiy, T.F. Izotova, S.L. Barbotko //Aviatsionnyie materialy i tehnologii. – 2012. – № 1. – С. 27–30.

30. **Barbotko, S.L.** Otsenka pozhar moy bezopasnosti polimernykh kompozitsionnykh materialov aviatsionnogo naznacheniya / S.L. Barbotko, V.N. Kirillov, E.N. Shurkova //Aviatsionnaya promyshlennost. – 2013. – № 2. – С. 55 58.

31. **Barbotko, S.L.** Pozharobezopasnost aviatsionnykh materialov / S.L. Barbotko //Aviatsionnyie materialy i tehnologii. – 2012. – № 4. – С. 431–439.

33. **Нестерова, Т.А.** Многослойный защитно-декоративный материал для декорирования деталей в салонах самолетов и вертолетов / Т.А. Нестерова, С.Л. Барботько, М.Ф. Николаева, Ю.А. Гертер // Труды ВИАМ, 2013. – № 8.

34. **Шуркова, Е.Н.** Сравнительная оценка пожаробезопасности ПКМ для изготовления конструктивных элементов летательных аппаратов / Е.Н. Шуркова, О.С. Вольный, А.Н. Луценко, С.Л. Барботько // Пожаровзрывобезопасность. – 2014. – Т.23. – № 2. – С.20-27.

35. **Швец, Н.И.** Фенолформальдегидное связующее пониженной горючести / Н.И. Швец, О.Б. Застрогина, С.Л. Барботько, В.М. Алексашин // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – Т.22. – № 5. – С.26-32.

32. **Beyder, E.Ya., Petrova G.N., Izotova T.F., Barbotko S.L.** Stekloplastiki na termoplastichnoy matritse / E.Ya. Beyder, G.N. Petrova, T.F. Izotova, S.L. Barbotko // Trudy VIAM, 2013. – № 7.

33. **Nesterova, T.A.** Mnogosloynnyy za-schitno-dekorativnyiy material dlya dekorirovaniya detaley v salonah samoletov i vertoletov / T.A. Nesterova, S.L. Barbotko, M.F. Nikolaeva, Yu.A. Gerter // Trudy VIAM, 2013. – № 8.

34. **Shurkova, E.N.** Sravnitel'naya otsenka pozharobezopasnosti PKM dlya izgotovleniya konstruktivnykh elementov letatelnykh apparatov / E.N. Shurkova, O.S. Volnyiy, A.N. Lutsenko, S.L. Barbotko // Pozharovzryvobezopasnost. – 2014. – T.23. – № 2. – S.20-27.

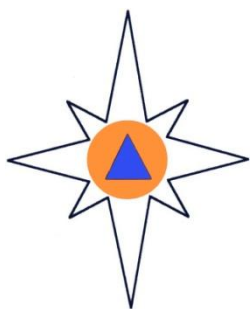
35. **Shvets, N.I.** Fenolformaldegidnoe svyazuyuschee ponizhennoy goryuchesti / N.I. Shvets, O.B. Zastrogina, S.L. Barbotko, V.M. Aleksashin // Pozharov-zryvobezopasnost. – 2013. – T.22. – № 5. – S.26-32.

AVIATION NORMS REQUIREMENTS AND METHODS OF ASSESSMENT OF FIRE SAFETY FOR AVIATION MATERIALS: HISTORY, CURRENT STATE AND DEVELOPMENT PERSPECTIVES

Barbotko S.L.,
PhD in Engineering,
All-Russian Scientific Research
Institute of Aviation Materials;
Russia, Moscow

Fires of airplanes are the extremely rare, and occur, as a rule, in case of serious failures. However the probability of their emergence cannot be neglected, as they can lead to simultaneous emergence of large number of human victims and drawing essential material and ecological damage. For ensuring survival of people and safety of aviation engineering it is necessary to provide fire safety and survival of people and aviation engineering, minimization of possible received damage. It can provide observance of requirements of fire safety stated in aviation normative documents. In this article the history of development of requirements and modern used methods of assessment of fire safety of materials of aviation assignment is considered.

Key words: fire safety, polymeric materials, aviation requirements, test methods



МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 517.962.24

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

А.В. Чиркова

В статье проведен сравнительный анализ отечественных программных комплексов, предназначенных для вероятностного анализа безопасности сложных технических объектов, таких как АРБИТР, БАРС, CRISS и RISK. Указанный анализ базируется на исследовании математических моделей, использующих теоретико-вероятностные формализмы. Рассмотрено введенное автором универсальное графическое средство структурного описания свойств исследуемой системы (схема функциональной целостности системы) на носителе, каковым является геометрический ориентированный граф. Математическая модель системы представляется теоретико-вероятностными соотношениями

Ключевые слова: программный комплекс, риск, безопасность

1. Введение. Анализ безопасности и оценки риска для окружающей среды сложных технических объектов является важнейшей априорной информацией при проектировании объектов атомной энергетики. Причиной бурного развития этой области знания послужила серия крупных мировых аварий на атомных электростанциях (АЭС), прежде всего Чернобыльская авария. В настоящее время к безопасности АЭС предъявляются исключительно жесткие требования ($1 \cdot 10^{-7}$ для предельного аварийного выброса). Это привело к созданию автоматизированных программных комплексов (ПК) для проведения вероятностного анализа безопасности АЭС [1-4]. Для рассмотренных в данной работе основных отечественных автоматизированных ПК представлен сравнительный анализ на основе исследования математических моделей, использующих теоретико-вероятностные формализмы. При этом такой подход может быть применен и для анализа безопасности иных сложных технических систем повышенной опасности [5].

2. Теоретическое обоснование, основные результаты. Принцип свободного задания логического критерия проведения анализа и расчета риска позволяет анализировать различные режимы функционирования системы (именно такой подход является фундаментом любого ПК). Рассмотрим часто используемое в ПК универсальное графическое средство структурного описания свойств исследуемых систем – схемы функциональной целостности (СФЦ). СФЦ – это графическое изображение логически-взаимосвязанных структур, в качестве которых могут выступать: структура системы, дерево отказов системы, дерево событий сценария аварии (предотвращения аварии), различные блок-схемы и графы связности. Создание СФЦ, подобных функциональным схемам исследуемых систем, облегчает процесс их построения, позволяет контролировать их правильность, что в большей степени предотвращает возможность ошибки.

Рассмотрим пример системы со схемой функциональной целостности, трактуемой как ориентуемый связный граф с пятью узлами (элементы системы) $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_4, \xi_5$ и одним интегрированным выходом (ξ_6 – узел выхода). Обозначим через $\gamma_{1,3}, \gamma_{1,5}, \gamma_{2,4}, \gamma_{2,5}, \gamma_{5,3}, \gamma_{5,4}, \gamma_{3,6}, \gamma_{4,6}$ – ребра графа СФЦ (двойной индекс указывает на ориентацию графа и порядок соединения элементов

Чиркова Анастасия Виззутовна,
к.ф.-м.н., доцент
Санкт-Петербургский
государственный университет;
Россия, Санкт-Петербург;
e-mail: torres2005@yandex.ru

© Чиркова А.В., 2014

СФЦ). Принципиальная схема системы очевидна в силу обозначений ребер графа СФЦ.

Представим математическую модель СФЦ в терминах теоретико-вероятностных формализмов, при этом расчет проводится для всей СФЦ с интегрированным выходом в вершине ξ_6 . Обозначим через x_i ($i = \overline{1,6}$) количественные характеристики элементов системы ξ_i ($i = \overline{1,6}$), тогда

$$\begin{aligned} y_1 &= x_1, \\ y_2 &= x_2, \\ y_3 &= x_3(y_1 \vee y_5), \\ y_4 &= x_4(y_2 \vee y_5), \\ y_5 &= x_5(y_1 \vee y_2), \\ y_6 &= y_5 \vee y_4 = x_1x_3 \vee x_1x_5x_4 \vee x_2x_5x_3 \vee x_2x_4. \end{aligned}$$

В ПК логические функции, описывающие СФЦ, преобразуются в точный вероятностный многочлен. Это определяется формулой сложения вероятностей $P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$ для несовместных событий A и B совместные. Если события A и B несовместные ($P(A \cap B) = 0$), имеется вспомогательный режим приближенного моделирования и расчета вероятностных показателей. Заметим, что расчеты приближенными методами приводят к консервативным (завышенным) оценкам, но при малых значениях вероятностей исходных событий (0,01 и менее) погрешность вычисления незначительна. Для системы с вышеприведенными соотношениями для количественных характеристик x_i ($i = \overline{1,6}$) точный и приближенный вероятностные полиномы будут иметь вид

$$\begin{aligned} P(y_6 = 1) &= p_1p_3 + p_1p_4p_5 - p_1p_3p_4p_5 + \\ &+ p_2p_3p_5 - p_1p_2p_3p_5 + p_2p_4 - p_1p_2p_3p_4 - \\ &- p_1p_2p_4p_5 - p_2p_3p_4p_5 + 2p_1p_2p_3p_4p_5, \\ P(y_6 = 1) &= p_1p_3 + p_1p_4p_5 + p_2p_3p_5 + p_2p_4 \end{aligned}$$

и при $p_i = 0,01$ погрешность составит $4,98 \cdot 10^{-8}$.

Моделирование систем безопасности и аварийных последовательностей с использованием ПК можно осуществлять также в виде графа-дерева отказов и графа-дерева событий. К достоинствам этих структур следует отнести простоту и ясность составляемых графов отображающих причинно-следственные связи в системе или сценарии аварии. Для системы, рассмотренной в вышеприведенном примере, дерево отказов представляет собой пространственный граф, а именно, если через $\xi_6, \xi_7, \xi_8, \xi_9$ обозначить простые выходы, через ξ_{10} – интегрированный выход, то $\gamma_{1,6}, \gamma_{1,7}, \gamma_{2,8}, \gamma_{2,9}, \gamma_{3,6}, \gamma_{3,8}, \gamma_{4,7}, \gamma_{4,9}, \gamma_{5,7}, \gamma_{5,8}$ – ребра графа-дерева отка-

зов с корнем в интегрированном выходе ξ_{10} . Логическая функция будет иметь следующий вид:

$$y = x_1x_3 \vee x_1x_5x_4 \vee x_2x_5x_3 \vee x_2x_4.$$

Приведем следующие утверждения, доказательства которых аналогичны рассуждениям в [6, 7].

Утверждение 1. Расчет значимостей $\xi_i = \frac{\partial P_c}{\partial P_i}$, положительных и отрицательных вкладов

всех элементов системы $B_i = P_i \frac{\partial P_c}{\partial P_i}$, где

$P_c = P(y(X_n) = 1)$ – вероятность опасного функционирования всей системы, $P_i = P(x_i = 1)$ – вероятность опасности данного события.

Утверждение 2. Расчет вероятности безотказной работы определяется соотношением

$$P_i(t) = e^{-\frac{t}{T_i}},$$

при этом среднее время работы до отказа невосстанавливаемых систем равно $T = \int_0^{\infty} P(t) dt$.

Утверждение 3. Коэффициент готовности каждого i -го элемента системы α_i равен

$$\alpha_i = \frac{T_{oi}}{T_{oi} + T_{Bi}},$$

где T_{oi} – среднее время наработки на отказ, T_{Bi} – среднее время восстановления.

Утверждение 4. Время средней наработки на отказ и среднего времени восстановления определяются следующими соотношениями

$$\begin{aligned} T_o &= \alpha \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{\partial \alpha}{\partial \alpha_i} \lambda_i \alpha_i} \right), \\ T_o &= (1 - \alpha) \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{\partial \alpha}{\partial \alpha_i} \lambda_i \alpha_i} \right), \end{aligned}$$

соответственно.

Замечание. При доказательстве представленных утверждений в математических моделях и автоматизированных ПК используются основные законы надежности, определяемые распределениями вероятностей непрерывной случайной величины с плотностями распределений $f(x)$ вида:

$f(x) = \lambda \exp(-\lambda x)$, $x > 0$ (плотность экспоненциального закона распределения);

$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}\right)$, $x > 0$ (плотность нормального закона распределения);

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\ln x - a)^2}{2\sigma^2}\right), x > 0$$

(плотность логарифмического нормального закона распределения);

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a, \\ \frac{n}{b} \left(\frac{x-a}{b}\right)^{n-1} \exp\left(-\left(\frac{x-a}{b}\right)^n\right), & x > a, \end{cases}$$

(плотность закона распределения Вейбулла);

$$f(x) = x \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right), \quad x > 0$$

(плотность закона распределения Релея);

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \cup x \geq 1, \\ \frac{G(a+b)}{G(a)+G(b)} (x)^{a-1} (1-x)^{b-1}, & 0 < x < 1, \end{cases}$$

(плотность β -распределения);

$$f(x) = \frac{b^a}{\Gamma(a)} x^{a-1} \exp(-bx), \quad x > 0$$

(плотность γ -распределения)

(здесь $G(\cdot)$ – гамма-функция).

3. Сравнительный анализ отечественных автоматизированных ПК. Рассмотрим четыре базовых отечественных автоматизированных ПК: «АРБИТР» (ОАО «Специальная инжиниринговая компания Севзапмонтажавтоматика», Россия, Санкт-Петербург [1-4]), «БАРС» (ОАО «Санкт-Петербургский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт» «АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ», Россия, Санкт-Петербург [6]), CRISS (ОАО «Опытное Конструкторское Бюро Машиностроения им. И.И. Африкантова», Россия, Нижний Новгород [7-9]), RISK (Отраслевой центр по расчетным кодам Минатома (ОЦРК), Россия, Москва [10]).

3.1. ПК «АРБИТР». Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета надежности и безопасности систем «АРБИТР» (ПК «АСМ СЗМА») использует СФЦ (см. п. 2), что позволяет с достаточной достоверностью получать информацию о рисках, проводить их анализ и контролировать правильность расчетов – утверждения 1-4 п. 2. Для усовершенствования структурно-логического моделирования, расчета надежности и безопасности систем необходимо внедрение ряда новых функциональных возможностей: детерминированного моделирования и определения системных последствий поражения любых групп элементов; автоматического построения статистических моделей и оценки показателей устойчивости, эффективности и риска функционирования сложных систем; оптимизации проектных решений по критериям «надежность – стоимость»; расчет вероятностных характеристик устойчивости, эффективности и ожидаемого ущерба при задании любых начальных состояний системы; адаптация ПК к подготовке деклараций промышленной безопасности и планов локализации и ликвидации аварий; учет различных законов распределения времени безотказной работы элементов и др.

3.2. ПК «БАРС». Анализ безопасности и оценки риска систем основан на технологии автоматизированного структурно-логического моделирования и СФЦ, специфика которых описана в п. 2. При этом имеются особенности: корректный учет стратегий контроля и восстановления технического состояния оборудования АЭС; предусмотрено моделирование мажоритарных систем, а также использование основных параметрических моделей для отказов по общей причине. ПК «БАРС» позволяет анализировать влияние на надежность системы безопасности следующих параметров стратегий проверок технических средств: длительность периода между проверками и среднее время восстановления (утверждение 2, п. 2); вероятности отсутствия пускового отказа, безошибочных действий операторов при контроле, обнаружения отказа и интенсивность отказов (утверждения 3 и 4, п. 2) Следует отметить, наличие путей усовершенствования анализа в определении перечня оборудования, вышедшего из строя к конкретному времени (утверждения 2, 3 и их следствия, п. 2) и на основании этих сведений производить корректуру как СФЦ, так и логической модели безопасности.

3.3. ПК CRISS. В программе CRISS используется алгоритм расчета вероятностных показателей, основанный на методах оценки показателей надежности, аналогичным приведенным в утверждениях 1 и 2, п. 2; вероятностные полиномы для математической модели расчета рисков аналогичен приближенному полиному для случая несовместных событий.

К основным достоинствам ПК CRISS следует отнести использование его на базе двухуровневой архитектуры «клиент-сервер», где в качестве СУБД взят инструмент Oracle Database 10g Express, что позволяет:

- накапливать в базах данных информацию о составе систем безопасности, исходных событий и частотах их возникновения, ошибках в показателях надежности оборудования;
- управлять реляционными базами данных;
- импортировать базы данных и логические модели из зарубежных программ, например, SAPHIRE и RiskSpectrum.

Следует отметить, что используемый в ПК алгоритм расчета вероятностных показателей, основанный на методах оценки показателей надежности, не учитывающий возможность совместного возникновения событий ($P(A \cap B) = 0$, п. 2) приводит, как показано в п. 2, к завышенным оценкам рисков, хотя и незначительным при малых вероятностях исходных событий. Отметим также, что при составлении логических моделей использован не полный базис логических операций, что не позволяет моделировать немонотонные модели; отсутствует также трансфер между деревьями отказов.

3.4. ПК RISK. Используемый методический подход, также как и в ПК CRISS, основывается на модели дерева отказа и дерева событий, о которых

сказано выше. ПК позволяет: моделировать отказы по общим причинам комбинаций двух, трех и всех элементов, включенных в одну группу; проводить анализ значимости и неопределенности, тем самым выявлять слабые места проекта; учитывать меры по управлению авариями и ликвидации последствий аварий; использовать функции распределения для анализа неопределенности (логнормальное, гамма, бета, нормальное, равномерное, логарифмически равномерное, дискретное). Программа RiskMonitor, созданная на базе кода РИСК позволяет проводить оценки значимости ошибок персонала по методике НТЦ ЯРБ. Программа имеет сетевую версию, что позволяет проводить контроль за каждым блоком АЭС в режиме on-line на удаленном рабочем месте. Отметим, что методы построения логических моделей и вероятностных полиномов существенно отличаются от классических (см. п. 2) и требуют, на наш взгляд, дальнейшей доработки.

Библиографический список

1. Отчет о верификации программного средства «Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета надежности и безопасности систем» (ПК АСМ СЗМА, базовая версия 1.0, «АРБИТР»). Заключительная редакция. СПб.: ОАО «СПИК СЗМА». 2007. – 164 с.
2. Описание расчетных и аналитических тестов программного средства. Приложение 1 к заключительной редакции Отчета о верификации ПС «АРБИТР». СПб.: ОАО «СПИК СЗМА». 2007. – 177 с.
3. Описание решений контрольных примеров моделирования и анализа систем безопасности и ядерной установки при выполнении вероятностного анализа безопасности. Приложение 2 к заключительной редакции Отчета о верификации ПС «АРБИТР». СПб.: ОАО «СПИК СЗМА». 2007. – 157 с.
4. Отчет о научно-исследовательской работе «Сравнительный анализ технологий деревьев отказов и автоматизированного структурно-логического моделирования, используемых для выполнения работ по вероятностному анализу безопасности АЭС и ТП на стадии проектирования» (Шифр «Технология 2004»). Приложение 4 к заключительной редакции Отчета о верификации ПС «АРБИТР». СПб.: СПбАЭП, ОАО «СПИК СЗМА», ИПУ РАН. 2005. – 282 с.
5. Провоторов, В.В. К вопросу построения граничных управлений в задаче о гашении колебаний системы «мачта-растяжки» / В.В. Провоторов // Системы управления и информационные технологии. – 2008. – № 2.2 (32). – С. 293-297.
6. Ершов, Г.А. Обоснование периодичности проверок систем безопасности с помощью программного комплекса БАРС / Г.А. Ершов, Ю.Л. Ермакович, А.А. Калинин, М.А. Козлов, М.А. Парфентьев // Рациональное управление предприятием. – 2010. – N 2. – С. 22-24.
7. Бахметьев, А.М. Совершенствование программного обеспечения для проведения вероятностного анализа безопасности ядерных установок / А.М. Бахметьев, И.А. Былов, А.В. Думов, А.С. Смирнов // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2008. – № 2. – С. 21-30.
8. Бахметьев, А.М. Программно-методическое обеспечение для анализа надежности и безопасности ядерных установок при разработке и эксплуатации / А.М. Бахметьев, И.А. Былов, А.С. Смирнов, А.В. Думов, Е.А. Звягин, В.В. Мальцев, Ю.А. Махаев, В.П. Забегав, Е.Л. Розенбаум // Труды седьмая международная научно-техническая конференция «Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики», МНТК-2010. – Москва. – 2010. – С. 66-69.
9. Бахметьев, А.М. Программно-методическое

4. Выводы. Рассмотренные ПК можно условно разделить на две группы: АРБИТР–БАРС и CRISS–RISK, основное различие между которыми в алгоритмах вычисления вероятностной функции и вероятностного полинома (п. 2). Требования к показателям безопасности АЭС исключительно жестки и, как следствие, понижение их даже на 0,0001 требует больших материальных средств. В этой связи для ПК группы АРБИТР–БАРС, как вытекает из п. 2, получение приближенных вероятностных оценок даже с очень малой погрешностью может быть не оправдано. С другой стороны, при моделировании немонотонных структур логический базис группы CRISS–RISK недостаточен. Отсюда вытекает выборочность характера применимости ПК указанных групп в зависимости от технологических особенностей конкретных АЭС или иных сложных технических систем повышенной опасности.

References

1. Otchet o verifikatsii programmnoogo sredstva «Programmnyy kompleks avtomatizirovannogo strukturno-logicheskogo modelirovaniya i rascheta nadezhnosti i bezopasnosti sistem» (PK ASM SZMA, bazovaya versiya 1.0, «ARBTR»). Zaklyuchitelnaya redaktsiya. SPb.: OAO «SPIK SZMA». 2007. – 164 s.
2. Opisanie raschetnykh i analiticheskikh testov programmnoogo sredstva. Prilozhenie 1 k zaklyuchitelnoy redaktsii Otcheta o verifikatsii PS «ARBTR». SPb.: OAO «SPIK SZMA». 2007. – 177 s.
3. Opisanie resheniy kontrolnykh primerov modelirovaniya i analiza sistem bezopasnosti i yadernoy ustanovki pri vyipolnenii veroyatnostnogo analiza bezopasnosti. Prilozhenie 2 k zaklyuchitelnoy redaktsii Otcheta o verifikatsii PS «ARBTR». SPb.: OAO «SPIK SZMA». 2007. – 157 s.
4. Otchet o nauchno-issledovatel'skoy rabote «Srvnitelnyy analiz tehnologiy derezev otkazov i avtomatizirovannogo strukturno-logicheskogo modelirovaniya, ispolzuemykh dlya vyipolneniya rabot po veroyatnostnomu analizu bezopasnosti AES i TP na stadii proektirovaniya» (Shifr «Tehnologiya 2004»). Prilozhenie 4 k zaklyuchitelnoy redaktsii Otcheta o verifikatsii PS «ARBTR». SPb.: SPbAEP, OAO «SPIK SZMA», IPU RAN. 2005. – 282 s.
5. Provotorov, V.V. K voprosu postroeniya granichnykh upravleniy v zadache o gashenii kolebaniy sistemiy «machta-rastyazhki» / V.V. Provotorov // Sistemy upravleniya i informatsionnyye tehnologii. – 2008. – № 2.2 (32). – S. 293-297.
6. Ershov, G.A. Obosnovanie periodichnosti proverok sistem bezopasnosti s pomoschyu programmnoogo kompleksa BARS / G.A. Ershov, Yu.L. Ermakovich, A.A. Kalinkin, M.A. Kozlov, M.A. Parfentev // Ratsionalnoe upravlenie predpriyatiem. – 2010. – N 2. – S. 22-24.
7. Bahmetev, A.M. Sovershenstvovanie programmnoogo obespecheniya dlya provedeniya veroyatnostnogo analiza bezopasnosti yadernykh ustanovok / A.M. Bahmetev, I.A. Byilov, A.V. Dumov, A.S. Smirnov // Izvestiya vuzov. Yadernaya energetika. – 2008. – № 2. – S. 21-30.
8. Bahmetev, A.M. Programmno-metodicheskoe obespechenie dlya analiza nadezhnosti i bezopasnosti yadernykh ustanovok pri razrabotke i ekspluatatsii / A.M. Bahmetev, I.A. Byilov, A.S. Smirnov, A.V. Dumov, E.A. Zvyagin, V.V. Maltsev, Yu.A. Mahaev, V.P. Zabegaev, E.L. Rozenbaum // Trudyi sedmaya mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya «Bezopasnost, effektivnost i ekonomika atomnoy energetiki», MNTK-2010. – Moskva. – 2010. – S. 66-69.
9. Bahmetev, A.M. Programmno-metodicheskoe

обеспечение для вероятностного анализа безопасности объектов энергетики при разработке и эксплуатации / А.М. Бахметьев, И.А. Былов, Е.А. Звягин, Л. Абрамов // Труды нижегородского государственного технического университета. – 2012. – № 3. – С. 136-142.

9. **Исламов, Р.Т.** О разных вероятностях, риске, безопасности и качестве / Р.Т. Исламов. – [Электронный ресурс] – URL: www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=print&sid=4344 (дата обращения 25.02.13)

obespechenie dlya veroyatnostnogo analiza bezopasnosti ob'ektov energetiki pri razrabotke i ekspluatatsii / A.M. Bahmetev, I.A. Byilov, E.A. Zvyagin, L. Abramov // Trudy nizhegorodskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta. – 2012. – № 3. – С. 136-142.

10. **Islamov, R.T.** O raznyih veroyatnostyakh, riske, bezopasnosti i kachestve / R.T. Islamov. – [Elektronnyiy resurs] – URL: www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=print&sid=4344 (data obrascheniya 25.02.13)

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF SOFTWARE PACKAGE FOR SAFETY ASSESSMENT OF COMPLEX TECHNICAL OBJECTS

Chirkova Anastasiya Vizvutovna

Saint Petersburg State University,
candidate of physico-mathematical sciences, docent
e-mail: torres2005@yandex.ru

The comparative analysis of domestic software systems intended for the probabilistic safety analysis of complex technical objects, such as ARBITER BARS, CRISS and RISK is given in the article. This analysis is based on a study of mathematical models using probability-theoretic formalisms. It is considered the universal graphical tool for the structural description of properties of the system (the scheme of the functional integrity of the system) on the carrier introduced by the author, which is the geometric directed graph. The mathematical model of the system is represented by probability-theoretic relations.

Keywords: software package, risk, safety.



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.

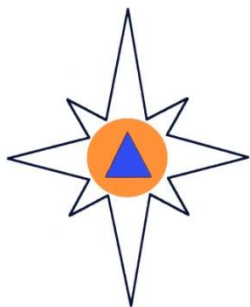
Место проведения конференций - г. Воронеж, ул. Краснознаменная, д. 231, ФГБОУ ВПО Воронежский институт ГПС МЧС России.

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

По материалам конференций публикуются сборники научных статей.

Приглашаем вас принять участие в конференциях в 2015 году!

Электронный адрес оргкомитета: vigps_onirio@mail.ru.



СНИЖЕНИЕ РИСКОВ И ЛИКВИДАЦИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

УДК 621.182.8: 539:620.179.16

ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ГЕНЕРИРОВАНИЕМ НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

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

Предложены принципы формирования вариантов проектных решений и показан пример выбора оптимальных решений, обеспечивающих генерирование новых технических идей.

Ключевые слова: проектные решения, новое техническое решение, многокритериальная оценка альтернатив, технологическая наследственность объекта, комбинированные методы обработки, акустико-эмиссионные критерии разрушения.

Новый мир требует новых решений всех вопросов, включая формирование вариантов проектных решений, не имеющих аналогов. При их реализации используют разные принципы. Так, при отсутствии готовых проектных решений используют направление проектирования, известное как синтез технологий. Это наименее формализованный элемент процесса проектирования, который трудно поддается автоматизации с помощью ПЭВК. В этом случае основная доля проектных работ выполняется проектировщиком и существенно зависит от его опыта, уровня теоретической подготовки, профессионального кругозора, владения эвристическими методиками и приемами и т.п.

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;

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;

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

Общепризнано, что благодаря эффектам взаимовлияния парциальных процессов при реализации новых процессов формируется особый физико-химический механизм воздействия на объект обработки, отличающийся от механизмов составляющих парциальных воздействий. Это позволяет получить новые высокие технические и технологические результаты, в том числе при применении в механообработке комбинированных методов обработки (КМО) [1]. Другое важное и эффективное направление связано с учетом технологической наследственности объекта [2], включая предысторию проектирования, создания, производства и эксплуатации и другие этапы.

Особое место в ряду новых технологий занимает применение неразрушающих методов диагностики с использованием акустико-эмиссионных критериев разрушения на основе инвариантов (АЭКИ), которые оценивают прочностные характеристики конструкций и систем с учётом степени опасности дефектов вне зависимости от их формы, размеров и предыстории эксплуатации [3-6].

Исследуем некоторые особенности этих методов, которые породили такие высокие новые результаты и придали новый импульс технологическим процессам на их основе.

Одним из направлений развития комбинированных методов размерной обработки является интенсификация процесса разрушения материала путем реализации в рабочей зоне процессов иной природы. При этом считается [4], что проблема интенсификации отдельных методов размерной обработки решается тремя путями:

– введением в рабочую зону дополнительных энергетических потоков и создание в ней взаимодействия различных физических полей;

– структурной оптимизацией КМО;

– параметрической оптимизацией парциальных процессов.

Первый из указанных путей является наиболее эффективным и перспективным, так как он позволяет находить и использовать новые физико-технологические эффекты и разрабатывать нетрадиционные технологии на их основе.

Так сложилось в мировой науке, что наибольшее развитие в теоретическом отношении получили работы, связанные с интенсификацией процесса резания как базового в формообразовании. Принято, что задача интенсификации в этом случае может быть сформулирована как процедура улучшения показателя обрабатываемости $P_{об}$, определяемого набором технологических параметров вида:

$$P_{об} = \begin{vmatrix} P_{xyz} & W & V \\ \Delta & R_i & U \\ K_{им} & K_{уд} & \theta \end{vmatrix}, \quad (1)$$

где P_{xyz} - вектор силовых воздействий процесса резания, Н; W - удельная энергоёмкость процесса, Дж/м; V - скорость формообразования, м/с; Δ - показатель точности обработки детали, мкм; R_i - показатели топологии генерируемой поверхности, мкм; U - скорость износа инструмента, мкм/с; $K_{им}$ - коэффициент, учитывающий физико-химическое взаимодействие инструмента и обрабатываемого материала; $K_{уд}$ - коэффициент, характеризующий особенности и условия протекания процесса (например, применение технологической среды и удаления шлама); θ - установившаяся температура в зоне обработки, °С.

Нередко сравнение методов обработки по приведенному выше показателю осуществляется дифференциальным методом с использованием весовых коэффициентов.

Отметим, что направление проектирования технологических объектов, связанное с генерированием новых не имеющих аналогов технических решений, т.е. новое техническое решение (НТР), имеет присущие ему свойства, в первую очередь, такие.

– Новое техническое решение отражает достигнутый на момент проектирования технологий наивысший уровень знаний в данной предметной области, включая фундаментальные знания, ориентированные на новый качественный уровень технологий.

– Новое техническое решение должно обеспечивать заданное функциональное преобразование объекта производства безотносительно к эффективности этого преобразования. Такому уровню отвечает управление технологической наследственностью объекта на этапах его жизненного цик-

ла. Поэтому на данном этапе формируют множество принципиально возможных технологий, а задачу выбора наилучшего варианта осуществляют на последующих этапах, начиная с совершенствования проектирования.

– Новое техническое решение наряду с эволюционным совершенствованием существующих технологий может привести к скачкообразному повышению уровня достигаемого с их применением качества. Например, применение излучения оптического квантового генератора резко продвинуло вперед технологии неразрушающего контроля и дефектоскопии.

– Создаваемые посредством новых технологий объекты обладают особой структурой, т.е. они имеют иное, чем традиционное, внутриустройство. У этих технологических объектов также иная иерархичность; этим технологиям присуща многомерность описания.

Поскольку технологические объекты обладают иной структурой, сформированной на основе особых ресурсов - элементов, их свойств и отношений, то процесс проектирования во многих случаях целесообразно разделять на два этапа. Один из них связан со структурным проектированием, а второй - с нахождением параметров элементов структуры, т.е. состоянием внутренних параметров.

Отметим также то, что при поиске технологического маршрута процесса определяют перечень операций и правила их упорядочивания, отношения между ними. При проектировании операций находят перечень и взаимосвязи технологических модулей. Это задачи структурного проектирования. Определение параметров операций в первом случае и переходов во втором – это задачи параметрического проектирования. Выделение перечисленных этапов упрощает синтез технологий и облегчает решение задач оптимизации проектных решений.

Иерархичность технологических объектов обуславливает иерархичность задач синтеза. Укажем следующую закономерность: чем выше уровень проектирования, тем меньше множество вариантов решения, и тем выше влияние качества решения на конечный результат.

Многомерность описания технологии выражается в разработке методик и относительно независимом подходе к решению перечисленных ниже задач синтеза.

Первое – это синтез методов обработки (СМО_б), который заключается в нахождении такой совокупности процессов физической, химической или иной природы, совместное протекание которых обеспечивает заданное изменение состояния объекта технологического воздействия.

В основе СМО_б лежит некоторый физико- (или химико-) технический эффект (т.е. ФТЭ или ХТЭ), описывающий результат протекания соответствующих процессов. Отметим, что понятия методы обработки (МО_б) и ФТЭ часто выступают в качестве синонимов, хотя первое из них, как прави-

ло, в большей степени объектно-ориентировано. При разработке методов обработки пользуются банк ФТЭ и ХТЭ, реализуя процедуру выбора готового решения.

Для синтеза $МО_B$ предложены методики и алгоритмы, базирующиеся на комбинаторике физически и химически совместимых между собой процессов. Они имеют такие особенности.

- Синтез способов обработки ($СО_B$), основанных на данном $МО_B$, заключается в нахождении такой совокупности приемов, правил, ограничений, которая делает возможным достижение технологического результата или повышает эффективность последнего. Для идентификации $СО_B$ как отдельного элемента соответствующего множества часто используют понятие отличительного признака, характеризующего индивидуальность структуры способов обработки, а именно: перечень приемов, отпущений, свойств и т.д.

- Синтез $МО_B$ и $СО_B$, тесно связан с патентно-правовой защитой новых инженерных решений, что является важным аспектом технической политики нашего государства, т. к. изобретательская деятельность сыграла важную роль в разработке эффективных методик и алгоритмов поиска НТР.

- Синтез технологий, являющийся целенаправленной совокупностью синтезов способов обработки, новой диагностики, а в итоге - получения требуемого качества изделия.

- Синтез средств технологического оснащения представляет собой проектную задачу создания технических объектов (конструкций), которая несколько отличается от задач технологического проектирования. Однако в исходных данных формируемых технологами, уже используются результаты проектирования, направленного на решения разнообразных технологических задач.

Во всех случаях поиск НТР рассмотренных задачах синтеза и их модификациях подчиняется следующей общей последовательности (методике):

- первоначально выделяются элементы структуры объекта, их свойства и отношения;

- затем обосновывается, выбирается и строится модель. Чаще всего это математическая модель объекта, например, с использованием аппарата теории множеств или математической логики. Хотя на ранних стадиях разработки модель из-за трудностей формализации проектной задачи может носить также описательный характер;

- далее формируется множество возможных вариантов объектов (структур) проектирования, то есть таких сочетаний элементов, их свойств и отношений, которые обеспечивают функцию объекта и удовлетворяют наложенным условиям и ограничениям.

На первый взгляд, описанная методика не вызывает особых затруднений, и она может быть формализована и выполнена с помощью ПЭВМ. Однако, при достаточно большом числе элементов с учетом их сложности, например, конструкции

силовых агрегатов авиационных или ракетных двигателей, количество возможных комбинаций столь велико, что путь перебора окажется бесперспективным даже при использовании совершенных ЭВМ.

Кроме того, до сих пор не решены или решены не полностью задачи формализации комплекса условий, правил и ограничений, регламентирующих подготовку производства и технологию производства изделия.

Из сказанного следует, что есть необходимость привлечения более рациональных стратегий поиска новых решений. Такие стратегии, как правило, основываются на эвристических приемах (ЭП). Для того чтобы механизм реализации, например, физических воздействий был эффективен, требуется, чтобы после синтеза технических решений и дальнейших процедур была проведена последующая оптимизация.

Отметим, что на рассматриваемых этапах работы возникает проблема принятия решения, которая заключается в комбинировании формализованных и неформализованных процедур. При этом формальными приемами получают информацию, позволяющую некоторому лицу (или коллективному органу) принимать обоснованное решение. Можно также утверждать, что существует принципиальная неформализуемость некоторых проектных действий.

По мнению некоторых исследователей, процесс проектирования сложных технических систем, таких как создание силовых агрегатов, летательных аппаратов, энергетических реакторов, специальных конструкций судов и подводных лодок и т.п., никогда не сможет быть до конца формализован.

Работы, которые выполняются на указанном этапе, во многом имеют субъективный фактор в виде лица, принимающего решение (ЛПР) и лиц, ему помогающих (эксперты, консультанты). Назначение последних – структуризация тех либо иных аспектов проектного решения, создание качественных и количественных оценок, предпочтений в условиях недостаточной исходной информации. Экспертным методом получают прогнозы развития различных ситуаций, оценивают перспективность новых образцов техники и новых технологий.

Уточним понятие неопределенности при принятии решения. Заметим, что в задачах технологического проектирования встречаются неопределенности двух типов: неопределенности целей и условий.

Пусть сформировано множество вариантов решения E , и каждому варианту E_i , принадлежащему E , соответствует некоторый результат e_i . Этот результат характеризует полезность, эффективность решения.

Если существует функциональная зависимость вида $e_i = f_i(x)$, где x – вектор, определяющий способ действий, идентифицирующий решение, то функцию $f_i(x)$ называют функцией полезности, или

целевой функцией. Неопределенность условий заставляет принимать решения, когда целевые функции содержат неопределенный параметр a , т. е., заданы не совсем точно.

В зависимости от конкретных значений этого параметра для каждого варианта решения можно получить соответствующие результаты $e_i = f_i(x, a_j)$, представленные в виде матрицы решения, Табл. 1.

Таблица 1.

Матрицы решения

	a_1	a_2	a_3	...	a_j	...	a_n
E_1	e_{11}	e_{12}	e_{13}	...	e_{1j}	...	e_{1n}
E_2	e_{21}	e_{22}	e_{23}	...	e_{2j}	...	e_{2n}
...
E_m	e_{m1}	e_{m2}	e_{m3}	...	e_{mj}	...	e_{mn}

Неопределенность условий часто связана со случайным характером тех или иных событий, характеризующих проведение операций, и тогда неопределенный параметр a целевой функции можно интерпретировать как вероятность наступления этих событий.

Иногда трудно предугадать характер влияния внешних условий на конечный результат, и приходится просчитывать результаты решений при нескольких фиксированных значениях этих условий.

Некоторая неопределенность целей в технологическом проектировании и производстве связана с неоднозначностью результата решения. Это выражается в том, что каждому решению ставится в соответствие не один e_i , а несколько результатов e_{ik} , влияющих на выбор решения и выражающих оценку локальных целей Z_k , $k = 1, 2, \dots, K$.

Эффективность используемой технологии оценивается набором единичных показателей, формирующих соответствующий вектор показателя качества. Естественно, возникает стремление разработчика представить результат проектирования таким вектором. Наличие векторного показателя эффективности технологии относит нашу задачу выбора проектного и технологического решения к классу задач многокритериальной оценки альтернатив.

В теории рассматриваются некоторые наиболее употребительные способы решения таких задач [4], которые можно свести к следующему.

Прямой метод. Он основан на скалярной свертке векторного показателя эффективности, то есть на задании функциональной зависимости между некоторым обобщенным критерием эффективности и единичными показателями с учетом важности (весомости) последних. Такая зависимость директивно задается ЛПР или экспертом без какого-либо теоретического обоснования и отражает их прошлый опыт в принятии подобных решений. Отсюда следует возможность разработки большого числа способов. Для этого лишь необходимо однозначно определить вид функциональной зависимости,

ее параметры и вероятностные оценки ее составляющих при принятии решения в условиях неопределенности.

При технологическом проектировании используют также разновидности обсуждаемого метода, такие как:

Аддитивная свертка векторного показателя, которая основана на замене K единичных показателей одним критерием вида

$$e_j^c = \sum_{j=1}^K c_j e_{ij}; \sum_{j=1}^K c_j = 1, \quad (2)$$

где C_j – весомость j -го показателя эффективности.

При этом ранжирование показателей по значимости и назначению весовых коэффициентов производят эксперты. Выполняя скалярную свертку, необходимо помнить о том, что эти показатели могут оцениваться величинами разного порядка и иметь различную размерность. Это затруднение устраняют путем использования в формуле (2) относительных частных показателей (по отношению к базовым значениям, устанавливаемым для каждого показателя экспертами).

– Выделение главного критерия является простейшим приемом скалярной свертки для преодоления неопределенности целей. Он заключается в ранжировании K единичных показателей по значимости и выделении главного показателя e_g , который вносит наибольший вклад в достижение цели. Остальные показатели представляют в виде ограничений. Задача выбора формулируется, например, так

$$e_0 = \max_i e_{ij}; \quad e_{ij} > [e_j] \quad (3)$$

где $[e_j]$ – допустимые значения j -го показателя эффективности.

– Введение нормативов и оценка отклонений от них. Пусть имеется система нормативных значений показателей e , заданных ЛПР. Тогда свертку производят по формуле:

$$e_i^c = \sum_{i=1}^K \left(\frac{e_j - e_j^H}{e_j^H} \right)^2 \quad (4)$$

Таким образом, получают скалярный критерий для каждого варианта решения. Дальнейший выбор наилучшего варианта по этому критерию не представляет затруднений.

Укажем, что, несмотря на внешнюю простоту, все модификации прямого метода оценки альтернатив страдают общими недостатками, вытекающими из доминирующего характера субъективного фактора.

Метод порогов несравнимости. Он основан на идее сужения множества альтернатив и базируется на отношениях предпочтения, эквивалентности и несравнимости при оценке альтернатив. Все показатели эффективности разбивают на группы.

Внутри группы ухудшение одного показателя можно компенсировать улучшением другого. Показатели, относящиеся к разным группам, сравнению не подлежат. Сужение множества возможных решений осуществляется попарным сравнением альтернатив. Если альтернатива A по каждой группе показателей имеет оценки не хуже чем B , а хотя бы по одной группе эти оценки лучше, то говорят, что A предпочтительнее B или A доминирует над B .

Если оценки этих альтернатив по всем группам показателей совпадают, то альтернативы эквивалентны. Если же A превосходит B по одним группам критериев, но уступает B по другим, то альтернативы признаются несравнимыми. Используя условие предпочтения, можно выделить в множестве E всех альтернатив подмножество E_n , состоящее из эквивалентных и несравнимых альтернатив, называемое ядром множества E или множеством Парето. Принцип Парето не выделяет единственное решение: он позволяет лишь сузить круг альтернатив, из которых надлежит сделать выбор. Однако, его использование дает возможность в ряде случаев многократно облегчить задачу.

3. Метод компенсаций. Он основан на следующем компромиссе: допуская ухудшение решения по одному показателю, стремятся компенсировать потерю изменением другого. Так, например, показатели e_1, e_2, \dots, e_k ранжируют по значимости и находят вариант решения, соответствующий экстремальному значению показателя e_1 , при произвольных значениях других показателей. Если такое решение найдено ($e_1 = e_1^*$), то ищут решение, доставляющее экстремум показателю e_2 при произвольных e_3, e_4, \dots, e_k и $e_1 = e_1^* - \Delta e_1$, где Δe_1 – допустимое ухудшение первого показателя.

Далее ситуация повторяется (назначая Δe_2 , необходимо помнить об ограничении Δe_1). Продолжая такие шаги, получают компромиссный вариант, выявляя попутно взаимосвязи показателей и иную информацию, необходимую ЛПП.

Таковы особенности поиска эффективных технологий и оценки их применения посредством единичных показателей, формирующих соответствующий вектор показателя качества, наличие которого относит нашу задачу выбора проектного и технологического решения к классу задач многокритериальной оценки альтернатив.

Выводы. На основании проведенного исследования можно утверждать, что существующие механизмы реализации воздействий на создаваемый объект сложны и не поддаются простой формализации. Проведение синтеза и оптимизации качественно новых технических решений существуют пока только в виде общих рекомендаций и принципов. Они не обеспечивают проектировщикам однозначный выбор прогрессивных технологий и инструмента управления формированием сочетаний всевозможных воздействий для достижения предельных технологических показателей.

Мы указали особенности применения лишь некоторых путей, а именно: применение комбинированных методов обработки, с учетом предыстории проектирования и обеспечением заданных качественных показателей создаваемых деталей и узлов; выбора оптимальных технологий подготовительных производств, а на их основе технологий создания последующей эксплуатации объекта с учетом факторов технологической наследственности, а также применение неразрушающих методов диагностики с использованием акустико-эмиссионных критериев разрушения на основе инвариантов, которые оценивают прочностные характеристики конструкций и систем с учётом степени опасности дефектов вне зависимости от их формы, размеров и предыстории эксплуатации на этапах жизненного цикла изделий. Предложенный системный подход открывает пути к применению новых технологий в отечественном специальном машиностроении и выводит его на качественно новый уровень.

Библиографический список

1. Смоленцев, Е.В. Проектирование электрических и комбинированных методов обработки / Е.В. Смоленцев. – М.: Машиностроение, 2005 – 511 с.
2. Старов, В.Н. Моделирование процессов изменения работоспособности оборудования с учетом технологической наследственности / В.Н. Старов, М.Н. Краснова. – Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2010. – 140 с.
3. Попов, А.В. Метод функциональных инвариантов в задачах оценки прочности на основе акустической эмиссии / А.В. Попов // Дефектоскопия. – 2008. – № 2. – С. 23-27.
4. Физико-химические методы обработки в производстве газотурбинных двигателей / под ред. Б.П. Саушкина. – М.: Дрофа, 2002. – 656 с.
5. Михайлов, А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения / А.Н. Михайлов. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с.
6. Попов, А.В. Методы определения эксплуатационной пригодности силовых элементов конструкций вооружения и во-

References

1. Smolentsev, E.V. Proektirovanie elektricheskikh i kombinirovannykh metodov obrabotki / E.V. Smolentsev. – M.: Mashinostroenie, 2005 – 511 s.
2. Starov, V.N. Modelirovanie protsessov izmeneniya rabotosposobnosti oborudovaniya s uchetom tehnologicheskoy nasledstvennosti / V.N. Starov, M.N. Krasnova. – Voronezh: GOUVPO «Voronezhskiy gosudarstvennyy tehnichestkiy universitet», 2010. – 140 s.
3. Popov, A.V. Metod funktsionalnykh invariantov v zadachah otsenki prochnosti na osnove akusticheskoy emissii / A.V. Popov // Defektoskopiya. – 2008. – № 2. – S. 23-27.
4. Fiziko-himicheskie metody obrabotki v proizvodstve gazoturbinnykh dvigateley / pod red. B.P. Saushkina. – M.: Drofa, 2002. – 656 s.
5. Mihaylov, A.N. Osnovyi sinteza funktsionalno-orientirovannykh tehnologiy mashinostroeniya / A.N. Mihaylov. – Donetsk: DonNTU, 2009. – 346 s.
6. Popov, A.V. Metodyi opredeleniya ekspluatatsionnoy prigodnosti silovykh elementov konstruktсий vooruzheniya i voennoy

енной техники на основе инвариантов акустико-эмиссионных процессов / А.В. Попов, В.Н. Старов, Д.Е. Барабаш, С.Ю. Жачкин // Вестник ВАИУ. – № 1 (15). – 2012. – С 28-36.

tehniki na osnovе invariantov akustiko-emissionnyih protsessov / A.V. Popov, V.N. Starov, D.E. Barabash, S.Yu. Zhachkin // Vestnik VAIU. – № 1 (15). – 2012. – S 28-36.

THE DESIGN DECISIONS ASSOCIATED WITH GENERATING NEW TECHNICAL SOLUTIONS

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

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

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

Proposed principles of design alternatives and shows an example of selection of optimal solutions that ensure the generation of new technological ideas.

Keywords: *design solutions, a new technical solution, mnogokriterial-sexual evaluation of alternatives, technological heredity object, combined rowanne processing methods, acoustic emission criteria destruction.*

ОЦЕНКА РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРОВ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

А.С. Павлова, А.А. Исаев

В статье показано практическое использование стохастических методов для оценки риска возникновения и развития чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: чрезвычайные ситуации, математические модели, природная среда.

Суть концепции приемлемого (допустимого) риска, пришедшей на смену концепции абсолютной безопасности, состоит в стремлении к некоему компромиссу между уровнем безопасности и возможностями ее достижения. Приемлемый (допустимый) риск – это такая минимальная величина риска, которая достижима по техническим, экономическим и технологическим возможностям. Можно сказать, что приемлемый риск представляет собой некий компромисс между уровнем безопасности и возможностями его достижения. Риск (R) – количественная характеристика опасности, определяемая частотой реализации опасностей. Количественно он выражается формулой:

$$R = \frac{n}{N}$$

где n – число случаев проявления опасностей; N – возможное число случаев проявления опасностей.

Риск обычно определяют на конкретный период времени. Различают риск индивидуальный и коллективный. **Индивидуальный риск** характеризует опасность для отдельного человека. **Коллективный риск** (групповой, социальный) – это риск проявления опасности того или иного вида для коллектива, группы людей, для определенной социальной или профессиональной группы людей. Повышение безопасности технических систем и снижение тем самым величины приемлемого риска экономическими методами ограничены. Большие финансовые средства, затрачиваемые на повышение безопасности технических систем, уменьшают количество средств, выделяемых на приобретение средств индивидуальной защиты, медицинское обслуживание, заработную плату и т.д. В этом случае социальной сфере производства может быть нанесен значительный ущерб.

Павлова Алла Сергеевна, соискатель факультета подготовки и переподготовки научных и научно-педагогических кадров, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России; Россия, г. Санкт-Петербург;

Исаев Андрей Александрович, начальник учебного отдела, Воронежский институт ГПС МЧС России; Россия, г. Воронеж

© Павлова А.С., Исаев А.А., 2014

Величина приемлемого риска определяется в результате учета всех сфер – технической, технологической, социальной, и рассчитывается как результат оптимизации затрат на инвестиции в эти области. Величина приемлемого риска различна для отраслей производства, профессий, вида негативных факторов, которым он определяется.

В Постановлении Правительства РФ [1] установлены 14 классов профессионального риска. Наиболее опасными являются сланцевая промышленность, строительство шахт и добыча угля подземным способом. Здесь величина приемлемого риска гораздо выше, чем для других отраслей и профессий, где количество опасностей меньше и уровень вредных факторов ниже. Сейчас принято считать, что в условиях техногенных опасностей (технический риск) индивидуальный риск считается приемлемым, если его величина не превышает 10^{-6} . Эта величина используется для оценки пожарной и радиационной безопасности. В нашей стране средняя величина реального риска на производстве составляет 10^{-4} , что значительно ниже величины приемлемого риска (Таблица 1). Это говорит о том, что необходимо повышать безопасность на производстве.

Различают также мотивированный (обоснованный) и немотивированный (необоснованный) риск. В случае производственных аварий, пожаров для спасения людей и материальных ценностей человеку приходится идти на риск, превышающий приемлемый. Это риск обоснованный, или мотивированный. В ряде случаев, например, при радиационной аварии, установлены величины мотивированного риска, превышающие приемлемый риск.

Немотивированный (необоснованный) риск – это риск, превышающий приемлемый. Он возникает на производстве при нежелании работников соблюдать требования безопасности, использовать средства защиты и т.д. Как показывает практика, именно по причине немотивированного риска происходит более 20% всех травм на производстве. Одна из главных задач системы управления охраной труда на предприятии – обеспечение уровня состояния техники безопасности в соответствии с требованиями нормативных документов.

Таблица 1.

Индивидуальный риск фатального исхода в год, обусловленный различными причинами ЧС

№	Причины ЧС	Индивидуальный риск
1.	автомобильный транспорт	$3 \cdot 10^{-4}$
2.	падения	$9 \cdot 10^{-50}$
3.	пожары и ожоги	$4 \cdot 10^{-50}$
4.	утопление	$3 \cdot 10^{-5}$
5.	отравление	$2 \cdot 10^{-5}$
6.	огнестрельное оружие	$1 \cdot 10^{-5}$
7.	станочное оборудование	$1 \cdot 10^{-6}$
8.	водный транспорт	$9 \cdot 10^{-6}$
9.	воздушный транспорт	$9 \cdot 10^{-6}$
10.	падающие предметы	$6 \cdot 10^{-6}$
11.	электрический ток	$6 \cdot 10^{-6}$
12.	железная дорога	$4 \cdot 10^{-7}$
13.	молния	$5 \cdot 10^{-7}$
14.	ядерная энергия	$2 \cdot 10^{-10}$
15.	все прочие	$4 \cdot 10^{-5}$
16.	общий риск	$6 \cdot 10^{-4}$

Анализ риска – это исследования, направленные на выявление и количественное определение различных видов риска при осуществлении каких-либо видов деятельности и хозяйственных проектов.

Имеются четыре методических подхода к определению риска:

1. Инженерный, опирающийся на статистику, расчет частот, вероятностный анализ безопасности, построение деревьев опасности.

2. Модельный, основанный на построении моделей воздействия вредных факторов на отдельного человека, социальные, профессиональные группы и т.п. Эти методы основаны на расчетах, для которых не всегда есть данные.

3. Экспертный, при котором вероятность событий определяется на основе опроса опытных специалистов, т.е. экспертов.

4. Социологический, основанный на опросе населения.

Анализ доступной научной, нормативно-технической зарубежной и отечественной литературы в области возникновения чрезвычайных ситуаций на промышленных объектах показал, что вопрос прогнозирования развития возникновения чрезвычайных ситуаций на промышленных объектах практически не изучен. Известные детерминированные модели не позволяют рассчитать развитие опасных факторов чрезвычайных ситуаций на промышленных объектах. Наиболее перспективным направлением является создание недетерминированных математических моделей для расчета развития и возникновения чрезвычайных ситуациях на промышленных объектах.

В целом к настоящему времени сформировались следующие основные методы анализа и прогнозирования рисков:

– экстраполяционные, когда по статистическим данным об основных реализовавшихся чрезвычайных ситуациях на предшествующем отрезке времени определяются с заданной достоверностью параметры ЧС на предстоящем отрезке времени;

– вероятностные методы, основанные на использовании «деревьев отказов» и «деревьев событий», когда производится декомпозиция сложной потенциально опасной технической системы и определяются параметры надежности и рисков элементов системы поэтапным исследованием сценариев развития катастроф на базе статистической информации;

– методы математического имитационного моделирования наиболее опасных процессов внутри и вне сложной технической системы, ведущие к нарастающему повреждающим факторов и возникновению катастроф;

– логико-вероятностные методы и методы нечетких множеств, позволяющие рассматривать сложнейшие комбинации воздействий на человеко-машинные системы и их реакций на эти воздействия.

Анализ риска обычно начинается с его **идентификации** – выявления опасностей на рассматриваемой территории как причин риска в случае их реализации, основанного на анализе статистических данных об опасных природных и техногенных явлениях и результатах их взаимодействия с антропосферой – стихийных бедствиях, авариях и катастрофах, а также механизмов возможного воздей-

ствия их негативных факторов на различные группы населения в случае реализации опасностей.

Оценка риска состоит в его количественном измерении, т.е. определении возможных последствий реализации опасностей для различных групп населения. Целью оценки является взвешивание риска и выработка решений, направленных на его снижение. При этом оцениваются затраты и выигрыш от принимаемого решения.

Прогноз риска – это его оценка на определенный момент времени в будущем с учетом тенденций изменения условий проявления риска.

Методы оценки риска в общем случае делятся на феноменологические, детерминистские и вероятностные. Вероятностный метод анализа риска предполагает как оценку вероятности возникновения аварии, так и расчет относительных вероятностей того или иного пути развития процессов. При этом анализируются разветвленные цепочки событий и отказов оборудования, выбирается подходящий математический аппарат и оценивается полная вероятность аварий. Расчетные математические модели в этом подходе, как правило, можно значительно упростить в сравнении с детерминистскими схемами расчета. Вероятностный метод в настоящее время считается одним из наиболее перспективных для применения в будущем. На основе вероятностного метода могут быть построены различные методики оценки природного и техногенного рисков для населения, которые в зависимости от имеющейся (используемой) исходной информации делятся на:

– статистические, когда вероятности определяются по имеющимся статистическим данным (при их наличии);

– теоретико-вероятностные, используемые для оценки рисков от редких событий, когда статистика практически отсутствует;

– эвристические, основанные на использовании субъективных вероятностей, получаемых с помощью экспертного оценивания; используются при оценке комплексных рисков от совокупности опасностей, когда отсутствуют не только статистические данные, но и математические модели (либо модели слишком грубы, т. е. их точность низка).

ЧС по генезису (происхождению) в России классифицируются на природные, техногенные, военные и биолого-социальные. В основу данной классификации положены источники, вызывающие соответствующие ЧС. Источниками природных ЧС являются опасные природные явления, техногенных – аварии и опасные техногенные происшествия, военных – современные средства поражения (ССП), а биолого-социальных – особо опасные или широко распространенные инфекционные болезни людей, сельскохозяйственных животных и растений. Все эти чрезвычайные ситуации можно подразделить на конфликтные (военные столкновения, экономические кризисы, социальные взрывы, национальные и религиозные конфликты, уголовную преступность, террористические акты и др.) и бесконфликтные (техногенные, экологические и природные явления, вызывающие ЧС) (Рис. 1) [2]. Указанное разделение ЧС имеет достаточно условный характер. Иногда ЧС делят на внезапно возникшие, быстро, умеренно и медленно распространяющиеся.



Рис. 1. Классификация чрезвычайных ситуаций

По характеру явлений экологические ЧС подразделяются на четыре основные группы:

- изменение состояния суши (деградация почв, эрозия, опустынивание);
- изменение свойств воздушной среды (климат, недостаток кислорода, вредные вещества, кислотные дожди, шумы, нарушение озонового слоя);
- изменение состояния гидросферы (истощение и загрязнение водной среды);
- изменение состояния биосферы (зоны Земли – включая верхнюю литосферу и нижнюю часть атмосферы) [3].

При аварийных разливах нефтяные углеводороды поступают во все природные сферы жизне-

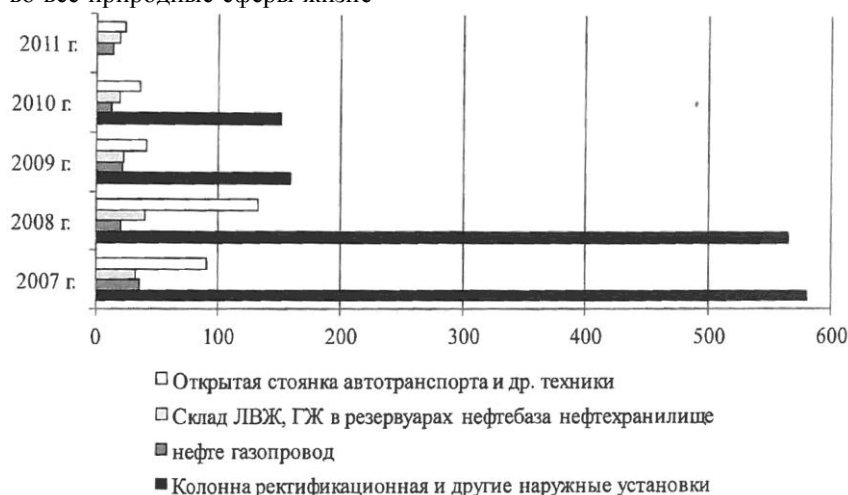


Рис. 2. Количество пожаров на объектах нефтегазового комплекса и открытых стоянках автотранспорта в 2007-2011 годах

Существенное снижение количества пожаров в 2009 году, по сравнению с предыдущими годами, объясняется введением с 2009 года новых критериев информации о чрезвычайных ситуациях [6]. В частности, к транспортным авариям, подлежащим учету, стали относить аварии с числом погибших 2 чел. и более или числом госпитализированных 4 чел. и более. Пожары в зданиях, сооружениях, в т.ч. на магистральных газо-, нефте-, продуктопроводах учитываются также при числе погибших 2 чел. и более или числе госпитализированных 4 чел. и более. Аварийный выброс нефти учитывается при авариях с разливом нефти и нефтепродуктов в объеме 20 т. и более, а при попадании в водные объекты 5 т. и более.

Риск – сочетание вероятности и последствий наступления событий. Знание вероятности неблагоприятного события позволяет определить вероятность благоприятных событий по формуле $P+ = 1 - P-$. Также риском часто называют непосредственно предполагаемое событие, способное принести кому-либо ущерб или убыток. Риск – характеристика ситуации, имеющей неопределенность исхода, при обязательном наличии неблагоприятных последствий. Риск в узком смысле – количественная оценка опасностей, определяется как частота одного события при наступлении другого. Риск –

деятельности человека – почву, водоемы и водотоки, приземный слой атмосферы, то есть в твердую, жидкую и газообразную оболочку земли. В каждой из них помимо неблагоприятной экологической обстановки могут сформироваться пожароопасные ситуации [4, 5].

На Рис. 2 показано распределение количества пожаров по объектам нефтегазового комплекса в 2007-2011 годах. Здесь учтены также пожары на открытых стоянках автотранспорта, которые хотя и не входят в объекты нефтегазового комплекса, но часто связаны с аварийными разливами нефтепродуктов.

это неопределённое событие или условие, которое в случае возникновения имеет позитивное или негативное воздействие на ситуацию и приводит к приобретениям или потерям в денежном выражении.

Проблема принятия решений составляет суть любой целенаправленной человеческой деятельности. Несмотря на все многообразие ситуаций и условий, в которых производится выбор решения, сам процесс выбора носит достаточно универсальный характер.

Ситуации, в которых осуществляется выбор, характеризуют следующие основные черты:

1) Наличие цели (целей).

Необходимость принятия решения диктуется только наличием цели, которую необходимо достичь. Если цель отсутствует, то и нет никакой необходимости принимать решение.

2) Наличие альтернативных линий поведения.

Решения принимаются только тогда, когда существует более одного способа их достижения. Причем каждый из способов может характеризоваться различной вероятностью достижения цели, а также, различными затратами, необходимыми для достижения целей.

3) Наличие ограничивающих факторов.

Естественно, что лицо, принимающее решение, не обладает бесконечными возможностями. Все множество ограничивающих факторов можно разбить на три основные группы:

- экономические факторы (деньги, производственные и людские ресурсы, время и т.п.),
- технические факторы (габариты, вес, энергопотребление, надежность, точность и т.п.),
- социальные факторы, которые учитывают требования человеческой этики и морали
- экологические требования.

Проблему принятия решений проиллюстрируем на примере выбора оптимального варианта проекта.

Процесс принятия управленческих решений – это преобразование исходной информации (информации состояния) в выходную информацию (информацию управления) – приказ.

Принято делить решения на формальные и творческие. Если преобразование информации выполняется с помощью математических моделей, то выработанное решение считается формальным; если решение принимается в результате скрытой работы интеллекта лица, принимающего решения, то это решение считается творческим. Такое деление в достаточной степени условно, поскольку ни чисто формального, ни чисто творческого решения в природе не существует. Если решения принимаются с помощью математических моделей, то знания и опыт человечества (элементы творчества) используются при создании этих моделей, а интуиция (элемент творчества) используется в момент, когда лицо, принимающее решение, задает то или иное значение исходной информации или из множества альтернативных вариантов в качестве решения выбирает один. Если основным инструментом выбора решений является интеллект человека, то формальные методы, носителями которых является вся наука, скрыто присутствуют в его знаниях и опыте.

В соответствии с делением решений на творческие и формальные все множество проблем, соответствующих любому процессу принятия решений, делят на два принципиально различных класса: это проблемы концептуального характера и проблемы формально-математического, или вычислительного, характера.

К концептуальным проблемам относят сложные логические проблемы, которые невозможно решить с помощью только формально математических методов и ЭВМ. Очень часто эти проблемы уникальны в том смысле, что они решаются впервые и не имеют прототипов в прошлом. Обычно концептуальные проблемы решаются на уровне руководителей с привлечением группы экспертов. В качестве экспертов выступают высококвалифицированные специалисты из различных областей науки и техники. При решении концептуальных проблем формально-математические методы играют только вспомогательную роль, а главное значе-

ние придается эрудиции, опыту и интуиции эксперта. К числу концептуальных проблем относят, в частности, такие проблемы, как анализ и выбор целей, выявление совокупности показателей, характеризующих следствия принятого решения, выбор из этих показателей критерия оптимальности и т.п.

Задачи принятия решений делятся на статические (не зависящие от времени) и динамические (зависящие от времени). Кроме того, задачи принятия решения, в зависимости от стратегии управления делятся на следующие три группы:

1. Модели принятия решений в условиях определенности. Здесь лицо, принимающее решение, точно знает, в каком состоянии будет природа. Остаётся только выбрать наилучшее решение. Моделями этого класса являются детерминированные модели, такие как модели линейного, целочисленного и нелинейного программирования и другие оптимизационные модели.

2. Модели принятия решений в условиях риска. В этих моделях известно распределение вероятностей всех состояний природы, для выбора "наилучшего решения" применяются следующие критерии:

- а) Максимизация ожидаемого результата, выраженного в виде денежных платежей.
- б) Минимизация ожидаемых потерь.
- в) Максимизация ожидаемого результата, выраженного в виде значения полезности.

3. Модели принятия решений в условиях неопределенности. Здесь лицо, принимающее решение, не знает вероятностей наступления того или иного состояния природы. В этой ситуации можно применить критерий Лапласа: присвоить всем возможным состояниям природы одинаковые вероятности их осуществления и затем выбрать решение, максимизирующее ожидаемый результат. Альтернативой критерию Лапласа могут служить критерии, не использующие вероятности состояний природы. Существует три таких критерия.

- а) Максиминный критерий, максимизирующий минимум денежных платежей.
- б) Максимаксный критерий, максимизирующий максимум денежных платежей.
- в) Критерий минимаксных потерь, минимизирующий максимум потерь.

Эти критерии в общем случае порождают различные решения.

Учитывая опыт решения экологических задач с помощью математических моделей [7] и количественной оценки функционирования системы взаимодействия человека с окружающей средой, была выбрана динамическая модель принятия решений в условиях риска. В качестве математического аппарата выбран метод динамического программирования для решения стохастических задач, где процесс принятия решений можно представить конечным числом состояний [8, 9]. Переходные вероятности между состояниями описывают мар-

ковскую цепь. Структура вознаграждений в подобном процессе представима в виде матрицы, элементами которой являются величины дохода (или затраты), возникающие при переходе из одного состояния в другое. Матрица переходных вероятностей и матрица доходов зависят от альтернатив ре-

шения, которыми располагает лицо, принимающее решение. Целью задачи является формирование оптимальной стратегии, максимизирующей ожидаемый доход от процесса, имеющего конечное или бесконечное число этапов.

Библиографический список

1. Об утверждении правил отнесения отраслей (подотраслей) экономики к классу профессионального риска: постановление Правительства РФ от 31 августа 1999 г. №975 (в ред. Постановления Правительства РФ от 27.05.2000 №415).
2. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: федер. закон № 68-ФЗ. – Российская газета. – № 250. – 1994.
3. Воздвиженский, Ю.М. Безопасность жизнедеятельности в чрезвычайных ситуациях / Ю.М. Воздвиженский. – СПб, 2006. – 123 с.
4. Аверьянов, А.Н. Системное познание мира / А.Н. Аверьянов. – М.: Политиздат, 1985. – 263 с.
5. Акимов, В.А. Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах. / В.А. Акимов, В.В. Лесных, Н.Н. Радаев. – М.: Деловой экспресс, 2004. – 352 с.
6. Шарапов, С.В. Экспериментальное изучение возможности возгорания систем почва-нефтепродукт при разливах нефти на объектах нефтегазового комплекса / С.В. Шарапов, Ю.Д. Моторыгин, М.А. Галишев, С.Н. Рубилов // Проблемы управления риском в техносфере. – № 4 (8). – 2008. – С. 136-148.
7. Галишев, М.А. Анализ состояния почвенного покрова на объектах нефтегазового комплекса по результатам изучения перераспределения нефтяного загрязнения между сопредельными природными средами / М.А. Галишев, М.А. Фаргиев, О.В. Щербakov // Проблемы управления рисками в техносфере. – № 3. – 2013.
8. Об утверждении критериев информации о чрезвычайных ситуациях: приказ МЧС России от 24.02.2009 № 92.
9. Моторыгин, Ю.Д. Математическое моделирование процессов возникновения и развития пожаров: монография / Ю.Д. Моторыгин. – СПб.: СПб УГПС МЧС России, 2011. – 184 с.
10. ГОСТ Р 51901.15-2005 (МЭК 61165:1995) Менеджмент риска. Применение Марковских методов. – М.: Стандартинформ, 2005.
11. Анализ вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций / Е.Ю. Мирясов, М.Т. Аманбаев, Ю.Д. Моторыгин // Технологии техносферной безопасности. – № 6. – 2013. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://ipb.mos.ru/ttb/2013-5/2013-6.html>.

References

1. Ob utverzhdenii pravil otneseniya otrasley (podotrasley) ekonomiki k klassu professionalnogo riska: postanovlenie Pravitelstva RF ot 31 avgusta 1999 g. №975 (v red. Postanovleniya Pravitelstva RF ot 27.05.2000 №415).
2. O zashchite naseleniya i territoriy ot chrezvychaynykh situatsiy prirodno i tehnogenno haraktera: feder. zakon № 68-FZ. – Rossiyskaya gazeta. – № 250. – 1994.
3. Vozdvizhenskiy, Yu.M. Bezopasnost zhiznedeyatelnosti v chrezvychaynykh situatsiyah / Yu.M. Vozdvizhenskiy. – SPb, 2006. – 123 s.
4. Averyanov, A.N. Sistemnoe poznanie mira / A.N. Averyanov. – M.: Politizdat, 1985. – 263 s.
5. Akimov, V.A. Osnovy analiza i upravleniya riskom v prirodnoy i tehnogennoy sferah. / V. A. Akimov, V.V. Lesnykh, N.N. Radaev. – M.: Delovoy ekspress, 2004. – 352 s.
6. Sharapov, S.V. Eksperimentalnoe izuchenie vozmozhnosti vozgoraniya sistem pochva-nefteprodukt pri razlivah nefi na ob'ektah neftegazovogo kompleksa / S.V. Sharapov, Yu.D. Motorygin, M.A. Galishev, S.N. Rubilov // Problemy upravleniya riskom v tehnosfere. – № 4 (8). – 2008. – S. 136-148.
7. Galishev, M.A. Analiz sostoyaniya pochvenno go pokrova na ob'ektah neftegazovogo kompleksa po rezul'tatam izucheniya pereraspredeleniya neftyanogo zagryazneniya mezhd u sopredelnyimi prirodnyimi sredami / M.A. Galishev, M.A. Fargiev, O.V. Scherbakov // Problemy upravleniya riskami v tehnosfere. – № 3. – 2013.
8. Ob utverzhdenii kriteriev informatsii o chrezvychaynykh situatsiyah: prikaz MChS Rossii ot 24.02.2009 № 92.
9. Motorygin, Yu.D. Matematicheskoe modelirovanie protsessov vzniknoveniya i razvitiya pozharov: monografiya / Yu.D. Motorygin. – SPb.: SPb UGPS MChS Rossii, 2011. – 184 s.
10. GOST R 51901.15-2005 (MEK 61165:1995) Menedzhment riska. Primenenie Markovskih metodov. – M.: Standartinform, 2005.
11. Analiz veroyatnosti vzniknoveniya chrezvychaynykh situatsiy / E.Yu. Miryasov, M.T. Amanbaev, Yu.D. Motorygin // Tehnologii tehnosfernoy bezopasnosti. – № 6. – 2013. – [Elektronnyiy resurs]. – URL: <http://ipb.mos.ru/ttb/2013-5/2013-6.html>.

ASSESSMENT OF THE RISK OF FIRES IN THE OBJECTS OF OIL AND GAS COMPLEX

Pavlova A.S., St.-Petersburg university
of State fire service of EMERCOM of Russia;
Russia, St.-Petersburg
Isaev A.A., Voronezh Institute
of State Fire Service of EMERCOM of Russia;
Russia, Voronezh

In article practical use of stochastic methods for an assessment the risk of beginning and development of emergency situations is shown.

Key words: emergency situations, mathematical models, natural environment.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАЛИЧИЯ ПОВОРОТОВ НА ПУТИ ДВИЖЕНИЯ ЛЮДСКОГО ПОТОКА НА ОБЩЕЕ ВРЕМЯ ЭВАКУАЦИИ ИЗ ЗДАНИЯ

С.А. Колодяжный, И.И. Переславцева

Мировые статистические данные, свидетельствующие о первом месте России по числу погибших на пожарах в зданиях и на транспорте, показывают недостаточность существующих в нашей стране мер пожарной безопасности.

В связи с этим возникает необходимость уточнения основных параметров определения пожарного риска и совершенствования методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности. Авторами проведены натурные исследования движения групп людей по различным видам коридоров, выполнены расчеты времени эвакуации людей по соответствующим участкам пути. Полученные результаты выявили несоответствие расчетного значения времени движения групп людей экспериментальным данным и подтвердили влияние наличия поворотов на пути движения на общее время эвакуации из здания.

Ключевые слова: пожарный риск, опасный фактор пожара, время эвакуации, людской поток, участок пути.

Введение. В настоящее время в нашей стране утверждена методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности [1], согласно которой определение расчетных величин пожарного риска заключается в расчете индивидуального пожарного риска для жильцов, персонала и посетителей в здании. Численным выражением индивидуального пожарного риска является частота воздействия опасных факторов пожара на человека, находящегося в здании.

Индивидуальный пожарный риск Q_B отвечает требуемому, если его расчетное значение меньше или равно нормативному значению Q_B^H . В свою очередь, определение расчетного значения величины индивидуального пожарного риска включает определение ряда параметров:

- вероятность эффективного срабатывания установок автоматического пожаротушения;
- вероятность присутствия в здании людей;
- вероятность эвакуации людей;
- вероятность эффективной работы системы противопожарной защиты, направленной на

Колодяжный Сергей Александрович, профессор, к.т.н., доцент, Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, г. Воронеж, e-mail: rector@vgasu.vrn.ru

Переславцева Инна Игоревна, старший преподаватель, Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, г. Воронеж, e-mail: u00105@vgasu.vrn.ru

© Колодяжный С.А., И.И. Переславцева, 2014

обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре.

Данные центра пожарной статистики (Center of Fire Statistics of CTIF), который располагает информацией о 85 странах и более чем 100 крупнейших городах мира, утверждают, что Россия стоит на первом месте в мире по числу погибших при пожарах в зданиях и на транспорте [2]. Для сравнения: Россия опережает по этому показателю ближайшего преследователя США более чем в 3 раза, при том что общее количество пожаров в США более чем в 4 раза, превышает количество пожаров в России [3].

Согласно статистическим данным МЧС России [4] за I полугодие 2013 года (Рис. 1) основными причинами гибели людей при пожарах является отравление продуктами горения и воздействие высокой температуры. Вследствие указанных причин погибло 3783 и 333 человека, соответственно, что составляет 72,95 % от общего количества погибших. Эти данные показывают, что гибель людей обусловлена тем, что они не успевают покинуть здание до наступления опасных факторов пожара.

Огромное количество погибающих при пожарах в России, на наш взгляд, свидетельствует о необходимости более глубокого анализа отдельных параметров определения пожарного риска и, как следствие, уточнения и совершенствования методики [1].

Анализ существующих расчетных методик времени эвакуации. Расчетное время эвакуации людей из помещений и зданий определяется на основе моделирования движения людей до выхода наружу одним из следующих способов:

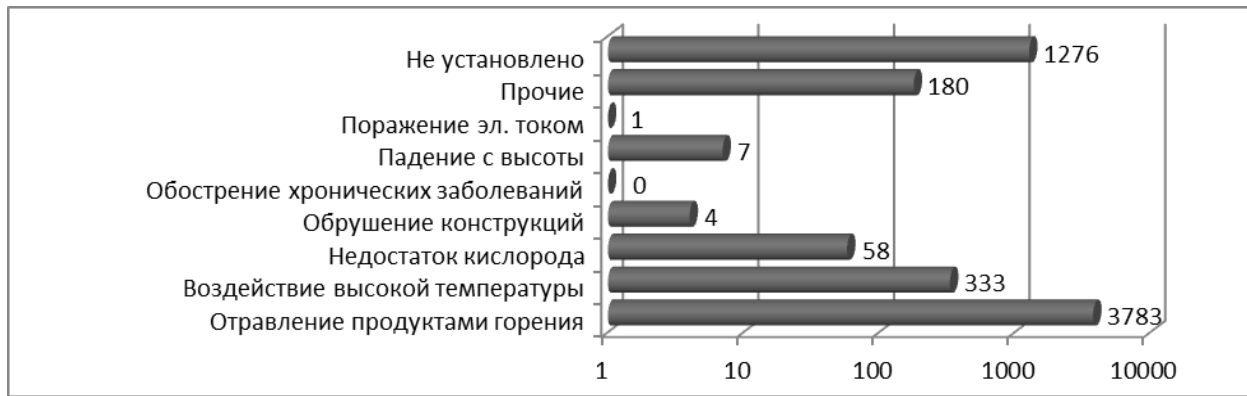


Рис.1. Основные причины гибели людей при пожарах

- по упрощенной аналитической модели движения людского потока;
- по математической модели индивидуально-поточного движения людей из здания;
- по имитационно-стохастической модели движения людских потоков [1].

Каждый из данных способов имеет свои достоинства и недостатки. Однако наиболее распространенной является упрощенная аналитическая модель движения людского потока, которая не требует, в отличие от остальных, специального программного обеспечения. Основным недостатком данной модели остается невозможность учесть некоторые параметры движения людского потока: переформирование потока, его растекание, разуплотнение, образование и рассасывание скоплений, что в результате может привести как к завышению, так и занижению расчетного времени эвакуации [5, 6].

Согласно методике [1] повороты на пути эвакуации не влияют на параметры движения людского потока, что вызывает определенные

сомнения, так как в зоне поворота происходит перераспределение параметров движения и деформация траекторий, по которым перемещаются люди. Эти явления отрицательно сказываются на режиме процесса движения, особенно в аварийных условиях [7, 8].

Для проверки влияния поворотов на пути эвакуации на изменение скорости движения людского потока были проведены экспериментальные исследования движения групп людей по коридорам.

Экспериментальные исследования. Проведенные натурные эксперименты заключались в измерении времени движения различного количества людей по эвакуационным путям. В качестве характерного пути эвакуации был выбран коридор шириной 1,87 м. Испытуемые сначала двигались по прямому отрезку коридора длиной 9 м, а затем – по двум отрезкам пути по 4,5 м с поворотом на 90°, то есть такой же общей длиной (Рис. 2).

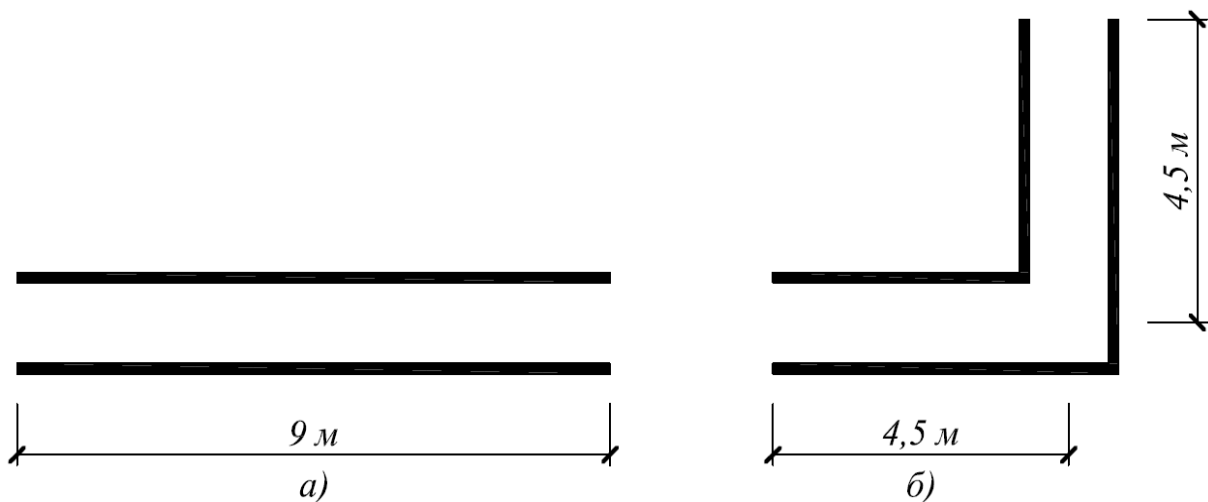


Рис. 2. Экспериментальные коридоры

а) прямой коридор

б) коридор с поворотом на 90°

В ходе эксперимента засекалось время движения для различного количества людей – 1, 10, 20 и 30 человек. Каждая группа имела по пять попыток прохождения предполагаемого пути эвакуации. Чтобы 10, 20 и 30 человек бесконечно не растягивались по пути движения, они были перевязаны плотной резинкой, которая при этом давала им возможность перемещаться внутри потока.

Таблица 1.
Время движения людей по прямому коридору

№ попытки	Время, с	Среднее значение времени, с
1 человек		
1.	5,0	4,6
2.	4,1	
3.	4,7	
4.	4,6	
5.	4,7	
10 человек		
1.	6,8	7,1
2.	7,7	
3.	6,8	
4.	7,0	
5.	7,4	
20 человек		
1.	8,4	7,9
2.	7,5	
3.	7,6	
4.	8,2	
5.	7,6	
30 человек		
1.	9,3	9,0
2.	8,8	
3.	8,9	
4.	9,2	
5.	9,0	

В соответствии с методикой [1] рассчитаем значения времени движения по коридору длиной 9 м. В данном случае коридор является первым участком пути, поэтому время движения людского потока по нему t_1 , мин рассчитывается по формуле:

$$t_1 = \frac{l_1}{V_1} \quad (1),$$

где l_1 - длина первого участка пути, м; V_1 - скорость движения людского потока по горизонтальному пути на первом участке, м/мин (определяется по таблице П2.1 [1] в зависимости от плотности D).

Плотность однородного людского потока на первом участке пути D_1 рассчитывают по формуле:

$$D_1 = \frac{N_1 \cdot f}{l_1 \cdot \delta_1} \quad (2)$$

где N_1 - число людей на первом участке, чел.; f - средняя площадь горизонтальной проекции человека, м²/чел., принимаемая в соответствии с пунктом

Результаты эксперимента и расчет по существующей методике. Результаты эксперимента по движению различного количества людей по прямому коридору длиной 9 м и по коридору, состоящему из двух участков по 4,5 м с поворотом 90°, представлены в Таблице 1 и Таблице 2 соответственно.

Таблица 2.
Время движения людей по коридору с поворотом 90°

№ попытки	Время, с	Среднее значение времени, с
1 человек		
1.	3,9	4,2
2.	4,3	
3.	4,3	
4.	4,3	
5.	4,2	
10 человек		
1.	7,7	7,2
2.	6,5	
3.	7,4	
4.	7,3	
5.	6,9	
20 человек		
1.	8,6	8,6
2.	8,4	
3.	8,7	
4.	9,1	
5.	8,3	
30 человек		
1.	9,8	10,1
2.	10,5	
3.	10,3	
4.	9,7	
5.	10,0	

6 приложения №5 [1]; δ_1 - ширина первого участка пути, м.

Люди, участвовавшие в эксперименте, были в летней одежде, поэтому площадь горизонтальной проекции человека $f=0,1$ м²/чел. [9].

При $N=1$ чел.:

$$D_1 = \frac{1 \cdot 0,1}{9 \cdot 1,87} = 0,006 \text{ м}^2 / \text{м}^2.$$

При $N=10$ чел.:

$$D_1 = \frac{10 \cdot 0,1}{9 \cdot 1,87} = 0,06 \text{ м}^2 / \text{м}^2.$$

При $N=20$ чел.:

$$D_1 = \frac{20 \cdot 0,1}{9 \cdot 1,87} = 0,12 \text{ м}^2 / \text{м}^2.$$

При $N=30$ чел.:

$$D_1 = \frac{30 \cdot 0,1}{9 \cdot 1,87} = 0,18 \text{ м}^2 / \text{м}^2.$$

Скорость движения людского потока при $N=1$ чел.: $V_1 = 100$ м/мин.; при $N=10$ чел.: $V_1 = 96$ м/мин.; при $N=20$ чел.: $V_1 = 76$ м/мин.; при $N=30$ чел.: $V_1 = 64$ м/мин.

Следовательно, время движения по коридору для различного количества людей составит при $N=1$ чел.:

$$t_1 = \frac{9}{100} = 0,09 \text{ мин.} = 5,4 \text{ с}$$

При $N=10$ чел.:

$$t_1 = \frac{9}{96} = 0,094 \text{ мин.} = 5,6 \text{ с}$$

При $N=20$ чел.:

$$t_1 = \frac{9}{76} = 0,118 \text{ мин.} = 7,1 \text{ с}$$

При $N=30$ чел.:

$$t_1 = \frac{9}{64} = 0,141 \text{ мин.} = 8,5 \text{ с}$$

Выводы. Анализ результатов экспериментальных исследований при движении группы из 30 человек выявил значительное увеличение времени движения при наличии

поворота 90° по сравнению с прямым коридором. При этом время движения группы из 10 человек в экспериментальном коридоре практически не зависит от наличия поворота, а 1 человек при наличии поворота проходит данный участок быстрее, чем по прямой.

Расчетные значения времени движения всех групп людей по методике [1] не соответствуют экспериментальным данным. На наш взгляд, это обусловлено тем, что 1 человек в реальных условиях сокращает свой путь, срезая угол на пути движения. При увеличении количества человек в группе наличие местного сопротивления в виде поворота на пути движения вызывает увеличение времени прохождения участка эвакуации за счет неизбежного переформирования потока и уменьшения его скорости.

Полученные результаты подтвердили значительное влияние поворотов на пути движения на время прохождения участка, а, следовательно, и на общее время эвакуации людей из зданий. Таким образом, весьма актуальными представляются дальнейшие исследования, направленные на выявление закономерностей времени эвакуации от количества людей в потоке и различных параметров отдельных участков пути движения.

Библиографический список

1. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности: приказ МЧС РФ от 30.06.2009 г. № 382 // Российская газета. – 2009. – N 161.
2. Brushlinsky, N.N. World Fire Statistics. CTIF / N.N. Brushlinsky, J.R. Hall, S.V. Sokolov, P.Wagner // Center of fire statistics. – 2012. – № 17. – 64 p.
3. Ботнар, М.И. Анализ пожарной безопасности объектов строительства в Российской Федерации / М.И. Ботнар, А.В. Дерепасов, И.И. Переславцева, Д.Г. Титков, С.А. Яременко // Научное обозрение. – 2013. – № 9. – С. 426-430.
4. Анализ обстановки с пожарами и последствиями от них на территории Российской Федерации за шесть месяцев 2013 года. М.: Департамент надзорной деятельности МЧС России. – 2013. – 12 с.
5. Холщевников, В.В. Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов: дис. ... д. техн. наук / Холщевников В.В. – М.: МИСИ, 1983.
6. Яременко, С.А. Энергетические спектры пульсационной скорости в свободных турбулентных вентиляционных потоках / С.А. Яременко, С.А. Переславцева, Н.А. Руднева, В.А. Малин // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2012. – № 3 (8). – С. 32-38.
7. Предтеченский, В.М., Милинский, А.И. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков: Учеб. пособие для вузов / В.М. Предтеченский, А.И. Милинский. – 2-е изд. – М.: Стройиздат, 1979. – 375 с.
8. Полосин, И.И. Защита жилых зданий от аэродинамического и структурного шума автономных котельных / И.И. Полосин, С.А. Яременко // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2010. – № 2. – С. 3-5.
9. Переславцева, И.И. Экспериментальные исследования времени эвакуации групп людей по лестничным клеткам зданий и сооружений / И.И. Переславцева, С.А. Яременко // Вестник гражданских инженеров. – 2013. – № 5 (40). – С. 122-126.

References

1. Metodika opredeleniya raschetnykh velichin pozharnogo riska v zdaniyakh, sooruzheniyah i stroeniyah razlichnykh klassov funktsionalnoy pozharnoy opasnosti: prikaz MChS RF ot 30.06.2009 g. № 382 // Rossiyskaya gazeta. – 2009. – N 161.
2. Brushlinsky, N.N. World Fire Statistics. CTIF / N.N. Brushlinsky, J.R. Hall, S.V. Sokolov, P.Wagner // Center of fire statistics. – 2012. – № 17. – 64 p.
3. Botnar, M.I. Analiz pozharnoy bezopasnosti ob'ektov stroitelstva v Rossiyskoy Federatsii / M.I. Botnar, A.V. Derepasov, I.I. Pereslavtseva, D.G. Titkov, S.A. Yaremenko // Nauchnoe obozrenie. – 2013. – № 9. – S. 426-430.
4. Analiz obstanovki s pozharami i posledstviyami ot nih na territorii Rossiyskoy Federatsii za shest mesyatsev 2013 goda. M.: Departament nadzornoy deyatelnosti MChS Rossii. – 2013. – 12 s.
5. Holschevnikov, V.V. Lyudskie potoki v zdaniyakh, sooruzheniyah i na territorii ih kompleksov: dis. ... d. tehn. nauk / Holschevnikov V.V. – M.: MISI, 1983.
6. Yaremenko, S.A. Energeticheskie spektryi pulsatsionnoy skorosti v svobodnykh turbulentykh ventilyatsionnykh potokakh / S.A. Yaremenko, S.A. Pereslavtseva, N.A. Rudneva, V.A. Malin // Nauchnyy zhurnal. Inzhenernyye sistemy i sooruzheniya. – 2012. – N 3 (8). – S. 32-38.
7. Predtechenskiy, V.M., Milinskiy, A.I. Proektirovanie zdaniy s uchetom organizatsii dvizheniya lyudskikh potokov: Ucheb. posobie dlya vuzov / V.M. Predtechenskiy, A.I. Milinskiy. – 2-e izd. – M.: Stroyizdat, 1979. – 375 s.
8. Polosin, I.I. Zashchita zhilykh zdaniy ot aerodinamicheskogo i strukturnogo shuma avtonomnykh kotelnykh / I.I. Polosin, S.A. Yaremenko // Energo bezopasnost i energosberehenie. – 2010. – № 2. – S. 3-5.
9. Pereslavtseva, I.I. Eksperimentalnyye issledovaniya vremeni evakuatsii grupp lyudey po lestnichnyim kletkam zdaniy i sooruzheniy / I.I. Pereslavtseva, S.A. Yaremenko // Vestnik grazhdanskih inzhenerov. – 2013. – № 5 (40). – S. 122-126.

RESEARCH OF INFLUENCE OF TURNS ON THE WAY OF MOVEMENT OF THE HUMAN STREAM FOR THE GENERAL TIME OF EVACUATION FROM THE BUILDING

Kolodyazhny Sergey Aleksandrovich

Voronezh state university of architecture and civil engineering,
department of fire and industrial safety
Professor, candidate of technical sciences, associate professor
e-mail: rector@vgasu.vrn.ru

Pereslavytseva Inna Igorevna

Voronezh state university of architecture and civil engineering,
department of fire and industrial safety
senior lecturer
e-mail: u00105@vgasu.vrn.ru

The world statistical data testifying to the first place of Russia on a death toll on fires in buildings and on transport, show insufficiency of measures of fire safety existing in our country. In this regard there is a need of specification of key parameters of definition of fire risk and improvement of a technique of determination of settlement sizes of fire risk for buildings, constructions and structures of various classes of functional fire danger. Authors conducted natural researches of movement of groups of people on different types of corridors. Calculations of time of evacuation of people for the corresponding sites of a way of evacuation are executed. The received results reveal discrepancy of a calculated value of time of movement of groups of people with experimental data and confirm influence of turns on movement ways on the general time of evacuation from the building.

Keywords: fire risk, dangerous factor of a fire, evacuation time, human stream, way site



ФГБОУ ВПО Воронежский институт ГПС МЧС России
приглашает принять участие в III Всероссийской
научно-практической конференции
**«Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации
последствий чрезвычайных ситуаций»,**
19 декабря 2014 года

Работа конференции будет проходить по следующим направлениям:

1. Эколого-правовые проблемы обеспечения безопасности при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера; промышленная экология; физический и химический контроль за состоянием окружающей среды.
2. Организация межведомственного взаимодействия при ликвидации последствий ЧС природного и техногенного характера.
3. Научно-теоретические и инженерно-технические разработки в области проблем безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.
4. Применение информационных технологий в области обеспечения безопасности при чрезвычайных ситуациях социального, природного и техногенного характера.
5. Совершенствование форм и методов профессиональной подготовки будущих специалистов МЧС России. Актуальные вопросы теории и практики высшего профессионального образования.
6. Развитие Службы 112 в Российской Федерации

По результатам конференции планируется издание сборника материалов и электронная публикация тезисов участников на сайте института: <http://www.vigps.ru>, <http://vigps.rf>, а также их размещение в РИНЦ.

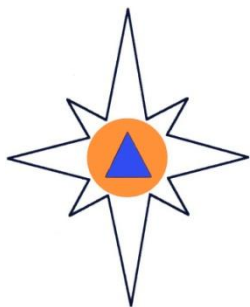
Регистрационный взнос не предусмотрен.

По всем вопросам обращаться в оргкомитет конференции:

Электронный адрес: vigps_onirio@mail.ru

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

Телефоны: (473) 236-33-05 – дежурная часть института;
(473)242-12-63 – организационно-научный и редакционно-издательский отдел.



МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

УДК 614.841

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРОВ НА ХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ ПРИ ИЗМЕНЕНИЯХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

С.Н. Тростянский, Ю.Н. Зенин

На основе анализа математической модели рационального правонарушителя получена оценка изменения вероятности возникновения пожаров на хозяйственных объектах при изменениях медианного значения логнормального распределения величины убытков от пожаров на объектах, а также при изменениях дисперсии нормального распределения логарифма величины убытков от пожаров на объектах и при изменениях среднего значения штрафных санкций за нарушение требований пожарной безопасности.

Ключевые слова: математическое моделирование, вероятность возникновения пожаров, модель рационального правонарушителя, экономические факторы.

Введение. Для выработки долгосрочной стратегии управления интегральными пожарными рисками на хозяйственных объектах с целью их минимизации требуется выяснить, как изменяется вероятность возникновения пожаров на этих объектах при изменении экономических факторов. Для этого необходима теоретическая модель, описывающая зависимость вероятности возникновения пожаров на хозяйственных объектах от социально-экономических и административно-правовых факторов, в том числе факторов, определяющих соблюдение собственниками хозяйственных объектов требований пожарной безопасности.

Теоретический анализ. Согласно [1] причины пожаров, обусловленные человеческим фактором и относящиеся к профилактируемым Государственной противопожарной службой (ГПС)

МЧС России, составляют большую часть от общего количества пожаров. Полагая линейную зависимость количества пожаров на хозяйственных объектах от общего количества хозяйственных объектов с нарушениями требований пожарной безопасности, выражение для вероятности возникновения пожаров на таких объектах за определенный интервал времени (за год), с учетом статистического определения частоты пожаров, согласно модели представленной в [2,3] можно записать как

$$p = p_n + p_p = p_n + kC \quad (1)$$

где k - региональный коэффициент пропорциональности между вероятностью пожаров на хозяйственных объектах, обусловленных профилактируемыми факторами, и C - долей объектов, собственники которых нарушают требования пожарной безопасности; p_n - вероятность возникновения пожаров по причинам, не обусловленным профилактируемыми ГПС факторами и, следовательно, не связанным с социальными и социально-экономическими факторами; p_p - вероятность возникновения пожаров по причинам, обусловленным профилактируемыми ГПС факторами и, следовательно, связанным с социальными и социально-экономическими факторами. Величина экономического множителя C согласно [2,3] определяется на основе экономической модели рационального пра-

Тростянский Сергей Николаевич,
д-р техн. наук, доц.,
Воронежский институт ГПС МЧС России;
Россия, г. Воронеж,
e-mail: trostyansky2012@yandex.ru
Зенин Юрий Николаевич,
Воронежский институт ГПС МЧС России;
Россия, г. Воронеж;
e-mail: vigps@mail

© Тростянский С. Н., Зенин Ю.Н. 2014

вонарушителя [4]. Рациональность правонарушителя означает, что нарушение происходит только в том случае, если ожидаемый доход от его совершения превышает возможные в случае пожара и (или) наказания потери. При расчете уровня нарушений на основе гипотезы рационального правонарушителя учитывается, что последний в качестве ожидаемой прибыли b может рассматривать экономию на расходах по обеспечению пожарной безопасности объектов, а в качестве наказания может нести следующие два вида убытков: 1) убытки u при возникновении пожаров на хозяйственных объектах: $u = u_m + E \cdot R_{2g} + E_t \cdot R_{2t}$, где u_m – материальные убытки; R_{2g} – риск гибели человека при пожаре на хозяйственных объектах [5], где единица его измерения имеет вид $\left[\frac{\text{жертва}}{\text{пожар}} \right]$; E – экономический

эквивалент человеческой жизни [6]; R_{2t} – риск травмирования человека при пожаре на хозяйственных объектах; E_t – экономический эквивалент одного травмированного при пожаре, определяемый страховыми выплатами за травмы [7]; 2) убытки H от штрафных санкций за нарушения требований пожарной безопасности при ожидаемой их вероятности за единицу времени f . При этом считается, что потенциальный правонарушитель на основе своего либо чужого опыта может оценивать вероятность p возникновения пожара на хозяйственных объектах.

Игнорирование требований пожарной безопасности, применительно к рациональному правонарушителю, с учетом возможных штрафных санкций, происходит только в том случае, если ожидаемый доход правонарушителя удовлетворяет условию

$$\frac{d\rho_{N(\ln(\mu), \sigma_u^2)}}{d\ln(\mu)} = -\frac{2(\ln(u) - \ln(\mu))}{2\sigma_u^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_u}} \exp\left(-\frac{(\ln(u) - \ln(\mu))^2}{2\sigma_u^2}\right) = -\frac{d\rho_{N(\ln(\mu), \sigma_u^2)}}{d\ln(\mu)}, \tag{4}$$

тогда:

$$\frac{d}{d\ln(\mu)} \int_{-\infty}^{\ln\left(\frac{(1-p)}{p}(b-fH)\right)} \rho_{N(\ln(\eta), \sigma_u^2)}(u) d\ln(u) = -\rho_{N(\ln(\mu), \sigma_u^2)}\left(\ln\left(\frac{(1-p)}{p}(b-fH)\right)\right), \tag{5}$$

следовательно:

$$\begin{aligned} \frac{dC}{d\ln(\mu)} &= - \int_{\ln(fH)}^{\infty} \rho_{N(\ln(\mu), \sigma_u^2)}\left(\ln\left(\frac{(1-p)}{p}(b-fH)\right)\right) \rho_{N(\ln(\eta), \sigma_u^2)}(\ln(b)) d\ln(b) = \\ &= - \int_{fH}^{\infty} \frac{(b-fH)}{b} \frac{\exp\left(-\frac{[\ln(b) - \ln(\eta)]^2}{2\sigma_b^2}\right)}{\exp\left(-\frac{[\ln(b-fH) - \ln(\eta-fH)]^2}{2\sigma_b^2}\right)} \times \\ &\times \frac{1}{(b-fH)} \rho_{N(\ln(\mu), \sigma_u^2)}\left(\ln\left(\frac{(1-p)}{p}(b-fH)\right)\right) \rho_{N(\ln(\eta-fH), \sigma_b^2)}(\ln(b-fH)) db. \end{aligned} \tag{6}$$

Сделав замену переменной: $t = b - fH$, учитывая: $b = t + fH$, получим выражение:

$$(1-p) \cdot (b - fH) > pu. \tag{2}$$

Согласно [2, 3] экономический множитель C можно определить:

$$C = \int_{\ln(fH)}^{\infty} \rho_{N(\ln(\eta), \sigma_u^2)}(\ln(b)) \int_{-\infty}^{\ln\left(\frac{(1-p)}{p}(b-fH)\right)} \rho_{N(\ln(\mu), \sigma_u^2)}(\ln(u)) d\ln(u) d\ln(b) \tag{3}$$

где H – средняя величина штрафных санкций, накладываемых на собственников объектов с нарушениями требований пожарной безопасности; f – вероятность штрафных санкций для нарушителей; $\rho_{N(\ln(\mu), \sigma_u^2)}(\ln(u))$ и $\rho_{N(\ln(\eta), \sigma_u^2)}(\ln(b))$ – функции нормального распределения величин $\ln(u)$ и $\ln(b)$ с дисперсиями σ_u^2 и σ_b^2 , где u – величина убытков от пожаров с медианным значением μ ; b – величина прибыли собственников от экономии, при несоблюдении требований пожарной безопасности на объектах, с медианным значением η . Логнормальное распределение величин u и b используется в соответствии с результатами работ [8, 9].

Для выяснения характера изменения множителя C при изменении экономических параметров: $\ln(\mu)$, σ_u , fH рассмотрим производные: $\frac{dC}{d\ln(\mu)}$,

$\frac{dC}{d\sigma_u}$, $\frac{dC}{d(fH)}$. Если соответствующая производная имеет знак > 0 , то функция и аргумент изменяются одинаково, если знак < 0 , то разнонаправлено, если производная $= 0$, то функция не изменяется при изменении аргумента.

Для расчета $\frac{dC}{d\ln(\mu)}$ предварительно рассмотрим производную:

$$\frac{dC}{d \ln(\mu)} = - \int_0^{\infty} \frac{t}{(t + fH)} \frac{\exp\left(-\frac{[\ln(t + fH) - \ln(\eta)]^2}{2\sigma_b^2}\right)}{\exp\left(-\frac{[\ln(t) - \ln(\eta - fH)]^2}{2\sigma_b^2}\right)} \frac{1}{t} \rho_{N(\ln(\mu), \sigma_u^2)}\left(\ln\left(\frac{1-p}{p}\right)t\right) \rho_{N(\ln(\eta - fH), \sigma_b^2)}(\ln(t)) dt \quad (7)$$

Так как входящая в (7) функция $\varphi(t) = \frac{t}{(t + fH)} \frac{\exp\left(-\frac{[\ln(t + fH) - \ln(\eta)]^2}{2\sigma_b^2}\right)}{\exp\left(-\frac{[\ln(t) - \ln(\eta - fH)]^2}{2\sigma_b^2}\right)}$ монотонно растёт с t , а

$g(t) = \frac{1}{t} \rho_{N(\ln(\mu), \sigma_u^2)}\left(\ln\left(\frac{1-p}{p}\right)t\right) \rho_{N(\ln(\eta - fH), \sigma_b^2)}(\ln(t))$ интегрируема, к (7) можно применить вторую теорему о среднем (формулу Бонне) [10]:

$$\begin{aligned} \frac{dC}{d \ln(\mu)} &= - \int_0^{\infty} \varphi(t) g(t) dt = - \varphi(\infty) \int_{\varepsilon}^{\infty} g(t) dt = - \int_{\ln(\varepsilon)}^{\infty} \rho_{N(\ln(\mu), \sigma_u^2)}\left(\ln\left(\frac{1-p}{p}\right)t\right) \rho_{N(\ln(\eta - fH), \sigma_b^2)}(\ln(t)) d \ln(t) = \\ &= - \int_{\ln(\varepsilon)}^{\infty} \rho_{N\left(\ln\left(\frac{\mu p}{1-p}\right), \sigma_u^2\right)}(\ln(t)) \rho_{N(\ln(\eta - fH), \sigma_b^2)}(\ln(t)) d \ln(t), \end{aligned} \quad (8)$$

где $0 \leq \varepsilon \leq \infty$.

Вспользуемся леммой из работы [11]:

$$\rho_{N(m_2, \sigma_2^2)}(s \cdot y + l \cdot x) \rho_{N(m_1, \sigma_1^2)}(y) = \rho_{N(m_2 - s \cdot m_1, \sigma_2^2 + s^2 \sigma_1^2)}(0) \rho_{N(M, \sigma^2)}(y) \quad (9)$$

где: $M = \frac{m_1 \sigma_2^2 - s(l \cdot x - m_2) \sigma_1^2}{\sigma_2^2 + s^2 \sigma_1^2}$; $\sigma^2 = \frac{\sigma_1^2 \sigma_2^2}{\sigma_2^2 + s^2 \sigma_1^2}$.

В выражении (8) произведение: $\rho_{N\left(\ln\left(\frac{\mu p}{1-p}\right), \sigma_u^2\right)}(\ln(t)) \rho_{N(\ln(\eta - fH), \sigma_b^2)}(\ln(t))$ аналогично (9) при подстановке:

$$y = \ln(t); \quad s = 1; \quad l = 0; \quad m_1 = \ln(\eta - fH); \quad m_2 = \ln\left(\frac{\mu p}{1-p}\right); \quad \sigma_1 = \sigma_b; \quad \sigma_2 = \sigma_u \quad (10)$$

Тогда на основании соотношений (8 - 10) получим:

$$\begin{aligned} \frac{dC}{d \ln(\mu)} &= - \rho_{N\left(\ln\left(\frac{\mu p}{(1-p)(\eta - fH)}\right), \sigma_u^2 + \sigma_b^2\right)}(0) \int_{\ln(\varepsilon)}^{\infty} \rho_{N\left(\frac{\ln(\eta - fH) \sigma_u^2 + \ln\left(\frac{\mu p}{1-p}\right) \sigma_b^2}{\sigma_u^2 + \sigma_b^2}, \frac{\sigma_b^2 \sigma_u^2}{\sigma_u^2 + \sigma_b^2}\right)}(\ln(t)) d \ln(t) = \\ &= - \rho_{N\left(\ln\left(\frac{\mu p}{(1-p)(\eta - fH)}\right), \sigma_u^2 + \sigma_b^2\right)}(0) \left[\frac{1}{2} - \Phi \left[\frac{\ln\left(\frac{\varepsilon}{\eta - fH}\right) \sigma_u^2 + \ln\left(\frac{\varepsilon(1-p)}{\mu p}\right) \sigma_b^2}{\sigma_b \sigma_u \sqrt{\sigma_u^2 + \sigma_b^2}} \right] \right] < 0, \end{aligned} \quad (11)$$

где $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x \exp\left(-\frac{y^2}{2}\right) dy$ - функция Лапласа [12] и $|\Phi(x)| \leq \frac{1}{2}$.

Тогда из (11) и (1) с учетом независимости p_n от социально-экономических факторов:

$$\frac{dp}{d \ln(\mu)} = -k \rho_{N\left(\ln\left(\frac{\mu p}{(1-p)(\eta - fH)}\right), \sigma_u^2 + \sigma_b^2\right)}(0) \left[\frac{1}{2} - \Phi \left[\frac{\ln\left(\frac{\varepsilon}{\eta - fH}\right) \sigma_u^2 + \ln\left(\frac{\varepsilon(1-p)}{\mu p}\right) \sigma_b^2}{\sigma_b \sigma_u \sqrt{\sigma_u^2 + \sigma_b^2}} \right] \right] < 0, \quad (12)$$

В случае отсутствия штрафных санкций $fH = 0$. Тогда в выражении (7) $\varphi(t) = 1$ и из (7) получим:

$$\frac{dC}{d \ln(\mu)} = - \int_0^{\infty} \frac{1}{t} \rho_{N(\ln(\mu), \sigma_u^2)}\left(\ln\left(\frac{1-p}{p}\right)t\right) \rho_{N(\ln(\eta - fH), \sigma_b^2)}(\ln(t)) dt = \quad (13)$$

$$-\int_{-\infty}^{\infty} \rho_{N(\ln(\mu), \sigma_u^2)} \left(\ln\left(\frac{1-p}{p}\right) t \right) \rho_{N(\ln(\eta-fH), \sigma_u^2)} (\ln(t)) d\ln(t)$$

Выражение (13) идентично (8) при $\varepsilon = 0$. Тогда, при $fH = 0$, подставляя $\varepsilon = 0$ в (12) получим:

$$\frac{dp}{d\ln(\mu)} = -k\rho_{N\left(\ln\left(\frac{p}{(1-p)(\eta-fH)}\right), \sigma_u^2 + \sigma_u^2\right)}(0) < 0 \tag{14}$$

Рассчитаем производную $\frac{dC}{d\sigma_u}$:

$$\frac{dC}{d\sigma_u} = \frac{d}{d\sigma_u} \int_{\ln(fH)}^{\infty} \rho_{N(\ln(\eta), \sigma_u^2)} (\ln(b)) \int_{-\infty}^{\ln\left(\frac{(1-p)(b-fH)}{p}\right)} \rho_{N(\ln(\mu), \sigma_u^2)} (\ln(u)) d\ln(u) d\ln(b)$$

Начнем с расчета выражения:

$$\begin{aligned} & \frac{d}{d\sigma_u} \int_{-\infty}^{\ln\left(\frac{(1-p)(b-fH)}{p}\right)} \rho_{N(\ln(\mu), \sigma_u^2)} (\ln(u)) d\ln(u) = \\ & -\frac{1}{\sigma_u} \int_{-\infty}^{\ln\left(\frac{(1-p)(b-fH)}{p}\right)} \left[1 - \frac{(\ln(u) - \ln(\mu))^2}{\sigma_u^2} \right] \rho_{N(\ln(\mu), \sigma_u^2)} (\ln(u)) d\ln(u) = \\ & -\frac{1}{\sigma_u} \left[\int_{-\infty}^{\ln\left(\frac{(1-p)(b-fH)}{p}\right)} \rho_{N(\ln(\mu), \sigma_u^2)} (\ln(u)) d\ln(u) - \int_{-\infty}^{\ln\left(\frac{(1-p)(b-fH)}{p}\right)} \left[\frac{(\ln(u) - \ln(\mu))^2}{\sigma_u^2} \right] \rho_{N(\ln(\mu), \sigma_u^2)} (\ln(u)) d\ln(u) \right] \end{aligned} \tag{15}$$

Вычислим отдельно интеграл

$$\begin{aligned} & \int_{-\infty}^{\ln\left(\frac{(1-p)(b-fH)}{p}\right)} \left[\frac{(\ln(u) - \ln(\mu))^2}{\sigma_u^2} \right] \rho_{N(\ln(\mu), \sigma_u^2)} (\ln(u)) d\ln(u) = - \int_{-\infty}^{\ln\left(\frac{(1-p)(b-fH)}{p}\right)} (\ln(u) - \ln(\mu)) d\rho_{N(\ln(\mu), \sigma_u^2)} (\ln(u)) = \\ & - \left(\ln\left(\frac{(1-p)(b-fH)}{p}\right) - \ln(\mu) \right) \rho_{N(\ln(\mu), \sigma_u^2)} \left(\ln\left(\frac{(1-p)(b-fH)}{p}\right) \right) + \int_{-\infty}^{\ln\left(\frac{(1-p)(b-fH)}{p}\right)} \rho_{N(\ln(\mu), \sigma_u^2)} (\ln(u)) d\ln(u) \end{aligned} \tag{16}$$

Подставляя (16) в (15) получим

$$\begin{aligned} & \frac{d}{d\sigma_u} \int_{-\infty}^{\ln\left(\frac{(1-p)(b-fH)}{p}\right)} \rho_{N(\ln(\mu), \sigma_u^2)} (\ln(u)) d\ln(u) = \\ & -\frac{1}{\sigma_u} \left(\ln\left(\frac{(1-p)(b-fH)}{p}\right) - \ln(\mu) \right) \rho_{N(\ln(\mu), \sigma_u^2)} \left(\ln\left(\frac{(1-p)(b-fH)}{p}\right) \right), \end{aligned} \tag{17}$$

отсюда:

$$\begin{aligned} \frac{dC}{d\sigma_u} &= -\frac{1}{\sigma_u} \int_{\ln(fH)}^{\infty} \left(\ln\left(\frac{(1-p)(b-fH)}{p}\right) - \ln(\mu) \right) \rho_{N(\ln(\mu), \sigma_u^2)} \left(\ln\left(\frac{(1-p)(b-fH)}{p}\right) \right) \rho_{N(\ln(\eta), \sigma_u^2)} (\ln(b)) d\ln(b) = \\ & -\frac{1}{\sigma_u} \int_{\ln(fH)}^{\infty} \left(\ln\left(\frac{(1-p)}{p} b\right) - \ln(\mu) \right) \rho_{N\left(\ln\left(\frac{p}{1-p}\right), \sigma_u^2\right)} (\ln(b-fH)) \rho_{N(\ln(\eta), \sigma_u^2)} (\ln(b)) d\ln(b) = \\ & -\int_{fH}^{\infty} \frac{\left[\ln\left(\frac{(1-p)(b-fH)}{p}\right) - \ln(\mu) \right]}{\sigma_u b} \rho_{N\left(\ln\left(\frac{p}{1-p}\right), \sigma_u^2\right)} (\ln(b-fH)) \rho_{N(\ln(\eta), \sigma_u^2)} (\ln(b)) db \end{aligned} \tag{18}$$

Введём замену переменных: $t = b - fH$, учитывая: $b = t + fH$ получим выражение:

$$\frac{dC}{d\sigma_u} = -\frac{1}{\sigma_u} \int_0^{\infty} \frac{t}{(t+fH)} \frac{\exp\left[-\frac{[\ln(t+fH) - \ln(\eta)]^2}{2\sigma_b^2}\right]}{\exp\left[-\frac{[\ln(t) - \ln(\eta-fH)]^2}{2\sigma_b^2}\right]} \times \tag{19}$$

$$\frac{1}{t} \left(\ln\left(\frac{1-p}{p}t\right) - \ln(\mu) \right) \rho_{N\left(\ln\left(\frac{\mu p}{1-p}\right), \sigma_u^2\right)}(\ln(t)) \rho_{N(\ln(\eta-fH), \sigma_b^2)}(\ln(t)) dt$$

Поскольку в (19) функция $\varphi(t) = \frac{t}{(t+fH)} \frac{\exp\left(-\frac{[\ln(t+fH) - \ln(\eta)]^2}{2\sigma_b^2}\right)}{\exp\left(-\frac{[\ln(t) - \ln(\eta-fH)]^2}{2\sigma_b^2}\right)}$ монотонно растёт с t , а

$q(t) = \frac{1}{t} \left(\ln\left(\frac{1-p}{p}t\right) - \ln(\mu) \right) \rho_{N\left(\ln\left(\frac{\mu p}{1-p}\right), \sigma_u^2\right)}(\ln(t)) \rho_{N(\ln(\eta-fH), \sigma_b^2)}(\ln(t))$ интегрируема, к (19) можно применить вторую теорему о среднем (формулу Бонне) [10]:

$$\begin{aligned} \frac{dC}{d\sigma_u} &= - \int_0^\infty \varphi(t) q(t) dt = - \varphi(\infty) \int_\varepsilon^\infty q(t) dt = \\ &= - \int_\varepsilon^\infty \frac{1}{t} \left(\ln\left(\frac{1-p}{p}t\right) - \ln(\mu) \right) \rho_{N\left(\ln\left(\frac{\mu p}{1-p}\right), \sigma_u^2\right)}(\ln(t)) \rho_{N(\ln(\eta-fH), \sigma_b^2)}(\ln(t)) dt = \\ &= - \int_{\ln(\varepsilon)}^\infty \left(\ln\left(\frac{1-p}{p}t\right) - \ln(\mu) \right) \rho_{N\left(\ln\left(\frac{\mu p}{1-p}\right), \sigma_u^2\right)}(\ln(t)) \rho_{N(\ln(\eta-fH), \sigma_b^2)}(\ln(t)) d\ln(t). \end{aligned} \quad (20)$$

где $0 \leq \varepsilon \leq \infty$.

Тогда на основе леммы из работы [11], в формуле (20) произведение:

$\rho_{N\left(\ln\left(\frac{\mu p}{1-p}\right), \sigma_u^2\right)}(\ln(t)) \rho_{N(\ln(\eta-fH), \sigma_b^2)}(\ln(t))$ аналогично (9) при подстановке (10). Следовательно:

$$\begin{aligned} \frac{dC}{d\sigma_u} &= - \frac{1}{\sigma_u} \rho_{N\left(\ln\left(\frac{\mu p}{(1-p)(\eta-fH)}\right), \sigma_u^2 + \sigma_b^2\right)}(0) \int_{\ln(\varepsilon)}^\infty \left(\ln\left(\frac{1-p}{p}t\right) - \ln(\mu) \right) \rho_{N\left(\frac{\ln(\eta-fH)\sigma_u^2 + \ln\left(\frac{\mu p}{1-p}\right)\sigma_b^2}{\sigma_u^2 + \sigma_b^2}, \frac{\sigma_u^2\sigma_b^2}{\sigma_u^2 + \sigma_b^2}\right)}(\ln(t)) d\ln(t) = \\ &= - \frac{1}{\sigma_u} \rho_{N\left(\ln\left(\frac{\mu p}{(1-p)(\eta-fH)}\right), \sigma_u^2 + \sigma_b^2\right)}(0) \left[\frac{\sigma_u^2}{(\sigma_u^2 + \sigma_b^2)} \ln\left[\frac{(1-p)(\eta-fH)}{p\mu} \right] \times \right. \\ &\quad \left. \left[\frac{1}{2} - \Phi\left[\frac{\ln\left(\frac{\varepsilon}{\eta-fH}\right)\sigma_u^2 + \ln\left(\frac{\varepsilon(1-p)}{\mu p}\right)\sigma_b^2}{\sigma_b\sigma_u\sqrt{\sigma_u^2 + \sigma_b^2}} \right] \right] + \frac{\sigma_b^2\sigma_u^2}{(\sigma_u^2 + \sigma_b^2)} \rho_{N\left(\frac{\ln(\eta-fH)\sigma_u^2 + \ln\left(\frac{\mu p}{1-p}\right)\sigma_b^2}{\sigma_u^2 + \sigma_b^2}, \frac{\sigma_u^2\sigma_b^2}{\sigma_u^2 + \sigma_b^2}\right)}(\ln \varepsilon) \right]. \end{aligned} \quad (21)$$

В случае отсутствия штрафных санкций $fH = 0$. Тогда в выражении (19) $\varphi(t) = 1$ и из (19) получим:

$$\begin{aligned} \frac{dC}{d\sigma_u} &= - \frac{1}{\sigma_u} \int_0^\infty \frac{1}{t} \left(\ln\left(\frac{1-p}{p}t\right) - \ln(\mu) \right) \rho_{N\left(\ln\left(\frac{\mu p}{1-p}\right), \sigma_u^2\right)}(\ln(t)) \rho_{N(\ln(\eta-fH), \sigma_b^2)}(\ln(t)) dt = \\ &= - \frac{1}{\sigma_u} \int_{-\infty}^\infty \left(\ln\left(\frac{1-p}{p}t\right) - \ln(\mu) \right) \rho_{N\left(\ln\left(\frac{\mu p}{1-p}\right), \sigma_u^2\right)}(\ln(t)) \rho_{N(\ln(\eta-fH), \sigma_b^2)}(\ln(t)) d\ln(t). \end{aligned} \quad (22)$$

Выражение (22) идентично (20) при $\varepsilon = 0$. Тогда, при $fH = 0$, подставляя $\varepsilon = 0$ в (21) получим:

$$\frac{dC}{d\sigma_u} = - \frac{1}{\sigma_u} \rho_{N\left(\ln\left(\frac{\mu p}{(1-p)(\eta-fH)}\right), \sigma_u^2 + \sigma_b^2\right)}(0) \left[\frac{\sigma_u^2}{(\sigma_u^2 + \sigma_b^2)} \ln\left[\frac{(1-p)(\eta-fH)}{\mu p} \right] \right]. \quad (23)$$

Из (23) и (1) с учетом независимости p_u от социально-экономических факторов следует, что при $fH = 0$:

$$\begin{aligned} \frac{dC}{d\sigma_u} &< 0, \text{ если } (1-p)(\eta-fH) > p\mu; & \frac{dp}{d\sigma_u} &< 0, \text{ если } (1-p)(\eta-fH) > p\mu; \\ \frac{dC}{d\sigma_u} &> 0, \text{ если } (1-p)(\eta-fH) < p\mu; & \frac{dp}{d\sigma_u} &> 0, \text{ если } (1-p)(\eta-fH) < p\mu; \\ \frac{dC}{d\sigma_u} &= 0, \text{ если } (1-p)(\eta-fH) = p\mu; & \frac{dp}{d\sigma_u} &= 0, \text{ если } (1-p)(\eta-fH) = p\mu. \end{aligned} \quad (24)$$

Рассчитаем производную $\frac{dC}{d(fH)}$. Для этого запишем для C представление в виде:

$$C = \int_0^\infty \rho_{N(\ln(\mu), \sigma_u^2)}(\ln(u)) \int_{\ln(\frac{p}{1-p}u + fH)}^\infty \rho_{N(\ln(\eta), \sigma_b^2)}(\ln(b)) d\ln(b) d\ln(u) \tag{25}$$

Тогда:

$$\begin{aligned} \frac{dC}{d(fH)} &= \frac{d}{d(fH)} \int_0^\infty \rho_{N(\ln(\mu), \sigma_u^2)}(\ln(u)) \int_{\ln(\frac{p}{1-p}u + fH)}^\infty \rho_{N(\ln(\eta), \sigma_b^2)}(\ln(b)) d\ln(b) d\ln(u) = \\ &= \int_0^\infty \rho_{N(\ln(\mu), \sigma_u^2)}(\ln(u)) \frac{d}{d(fH)} \int_{\ln(\frac{p}{1-p}u + fH)}^\infty \rho_{N(\ln(\eta), \sigma_b^2)}(\ln(b)) d\ln(b) d\ln(u) = \\ &= \int_0^\infty \rho_{N(\ln(\mu), \sigma_u^2)}(\ln(u)) \frac{d}{d(fH)} \left[1 - \int_{-\infty}^{\ln(\frac{p}{1-p}u + fH)} \rho_{N(\ln(\eta), \sigma_b^2)}(\ln(b)) d\ln(b) \right] d\ln(u) = \\ &= - \int_0^\infty \rho_{N(\ln(\mu), \sigma_u^2)}(\ln(u)) \frac{d}{d(fH)} \int_{-\infty}^{\ln(\frac{p}{1-p}u + fH)} \rho_{N(\ln(\eta), \sigma_b^2)}(\ln(b)) d\ln(b) d\ln(u) = \\ &= - \int_0^\infty \rho_{N(\ln(\mu), \sigma_u^2)}(\ln(u)) \frac{1}{\frac{p}{1-p}u + fH} \rho_{N(\ln(\eta), \sigma_b^2)}(\ln(\frac{p}{1-p}u + fH)) d\ln(u) = \\ &= - \int_0^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_u}} \exp\left[-\frac{[\ln(u) - \ln(\mu)]^2}{2\sigma_u^2}\right] \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_b} \frac{p}{1-p} \left[u + \frac{1-p}{p} fH\right]} \exp\left[-\frac{\left[\ln\left[\frac{p}{1-p} \left[u + \frac{1-p}{p} fH\right]\right] - \ln(\eta)\right]^2}{2\sigma_b^2}\right] du . \end{aligned} \tag{26}$$

Введем замену переменной: $t = u + \frac{1-p}{p} fH$. Тогда запишем (26) в виде:

$$\begin{aligned} \frac{dC}{d(fH)} &= - \int_{\frac{1-p}{p} fH}^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_u} \left[t - \frac{1-p}{p} fH\right]} \exp\left[-\frac{\left[\ln\left[t - \frac{1-p}{p} fH\right] - \ln(\mu)\right]^2}{2\sigma_u^2}\right] \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_b} \frac{p}{1-p} t} \exp\left[-\frac{\left[\ln\left[\frac{p}{1-p} t\right] - \ln(\eta)\right]^2}{2\sigma_b^2}\right] dt = \\ &= - \int_{\frac{1-p}{p} fH}^\infty \frac{1}{\left[t - \frac{1-p}{p} fH\right]} \frac{\exp\left[-\frac{\left[\ln\left[t - \frac{1-p}{p} fH\right] - \ln(\mu)\right]^2}{2\sigma_u^2}\right]}{\exp\left[-\frac{\left[\ln\left[t\right] - \ln\left(\mu + \frac{1-p}{p} fH\right)\right]^2}{2\sigma_u^2}\right]} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_u}} \exp\left[-\frac{\left[\ln\left[t\right] - \ln\left(\mu + \frac{1-p}{p} fH\right)\right]^2}{2\sigma_u^2}\right] \times \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_b}} \exp\left[-\frac{\left[\ln\left[t\right] - \ln\left(\frac{1-p}{p} \eta\right)\right]^2}{2\sigma_b^2}\right] dt . \end{aligned} \tag{27}$$

Функция $\beta(t) = \frac{1}{\left[t - \frac{1-p}{p} fH \right]} \frac{\exp \left[-\frac{\left[\ln \left[t - \frac{1-p}{p} fH \right] - \ln(\mu) \right]^2}{2\sigma_u^2} \right]}{\exp \left[-\frac{\left[\ln[t] - \ln\left(\mu + \frac{1-p}{p} fH\right) \right]^2}{2\sigma_u^2} \right]}$ с ростом t монотонно уменьшается, а функция

$$\psi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_u} \exp \left[-\frac{\left[\ln[t] - \ln\left(\mu + \frac{1-p}{p} fH\right) \right]^2}{2\sigma_u^2} \right] \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_b} \exp \left[-\frac{\left[\ln[t] - \ln\left(\frac{1-p}{p} \eta\right) \right]^2}{2\sigma_b^2} \right]$$
 интегрируема, поэтому к (27)

можно применить вторую теорему о среднем (формулу Бонне) [10]:

$$\begin{aligned} \frac{dC}{d(fH)} &= - \int_{\frac{1-p}{p} fH}^{\frac{1-p}{p} fH + \varepsilon} \beta(t) \psi(t) dt = -\beta\left(\frac{1-p}{p} fH\right) \int_{\frac{1-p}{p} fH}^{\frac{1-p}{p} fH + \varepsilon} \psi(t) dt = -\exp \left[-\frac{\left[\ln \left[\frac{1-p}{p} fH \right] - \ln\left(\mu + \frac{1-p}{p} fH\right) \right]^2}{2\sigma_u^2} \right] \times \\ &\int_{\ln \left[\frac{1-p}{p} fH \right]}^{\ln \left[\frac{1-p}{p} fH + \varepsilon \right]} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_u} \exp \left[-\frac{\left[\ln[t] - \ln\left(\mu + \frac{1-p}{p} fH\right) \right]^2}{2\sigma_u^2} \right] \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_b} \exp \left[-\frac{\left[\ln[t] - \ln\left(\frac{1-p}{p} \eta\right) \right]^2}{2\sigma_b^2} \right] d \ln(t) = \\ &-\exp \left[-\frac{\left[\ln \left[\frac{1-p}{p} fH \right] - \ln\left(\mu + \frac{1-p}{p} fH\right) \right]^2}{2\sigma_u^2} \right] \int_{\ln \left[\frac{1-p}{p} fH \right]}^{\ln \left[\frac{1-p}{p} fH + \varepsilon \right]} \rho_{\left[\ln\left(\mu + \frac{1-p}{p} fH\right), \sigma_u^2 \right]}(\ln(t)) \rho_{\left[\ln\left(\frac{1-p}{p} \eta\right), \sigma_b^2 \right]}(\ln(t)) d \ln(t), \end{aligned} \quad (28)$$

где $0 \leq \varepsilon \leq \infty$.

Тогда, на основе леммы из работы [11], произведение $\rho_{\left[\ln\left(\mu + \frac{1-p}{p} fH\right), \sigma_u^2 \right]}(\ln(t)) \rho_{\left[\ln\left(\frac{1-p}{p} \eta\right), \sigma_b^2 \right]}(\ln(t))$ в формуле (28) аналогично (9) при подстановке (29):

$$y = \ln(t); \quad s = 1; \quad l = 0; \quad m_1 = \ln\left(\frac{1-p}{p} \eta\right); \quad m_2 = \ln\left(\mu + \frac{1-p}{p} fH\right); \quad \sigma_1 = \sigma_b; \quad \sigma_2 = \sigma_u \quad (29)$$

$$\frac{dC}{d(fH)} = -\exp \left[-\frac{\left[\ln \left[1 + \frac{\mu}{\frac{1-p}{p} fH} \right] \right]^2}{2\sigma_u^2} \right] \rho_{\left[\ln\left(\mu + \frac{1-p}{p} fH\right) - \ln\left(\frac{1-p}{p} \eta\right), \sigma_u^2 + \sigma_b^2 \right]}(0) \int_{\ln \left[\frac{1-p}{p} fH \right]}^{\ln \left[\frac{1-p}{p} fH + \varepsilon \right]} \rho_{\left[\frac{\ln\left(\mu + \frac{1-p}{p} fH\right) \sigma_b^2 + \ln\left(\frac{1-p}{p} \eta\right) \sigma_u^2}{\sigma_u^2 + \sigma_b^2}, \frac{\sigma_u^2 \sigma_b^2}{\sigma_u^2 + \sigma_b^2} \right]}(\ln(t)) d \ln(t) = \quad (30)$$

$$\left[\begin{aligned} & - \exp \left[- \frac{\left[\ln \left(1 + \frac{\mu}{\frac{1-p}{p} fH} \right) \right]^2}{2\sigma_u^2} \right] \rho_{\left[\ln \left(\mu + \frac{1-p}{p} fH \right) - \ln \left(\frac{1-p}{p} \eta \right), \sigma_u^2 + \sigma_b^2 \right]}(0) \times \\ & \left[\frac{\Phi \left[\frac{\ln \left[\frac{\frac{1-p}{p} fH + \varepsilon}{\mu + \frac{1-p}{p} fH} \right] \sigma_b^2 + \ln \left[\frac{\frac{1-p}{p} fH + \varepsilon}{\frac{1-p}{p} \eta} \right] \sigma_u^2}{\sigma_u \sigma_b \sqrt{\sigma_u^2 + \sigma_b^2}} \right]}{\Phi \left[\frac{\ln \left[\frac{\frac{1-p}{p} fH}{\mu + \frac{1-p}{p} fH} \right] \sigma_b^2 + \ln \left[\frac{\frac{1-p}{p} fH}{\frac{1-p}{p} \eta} \right] \sigma_u^2}{\sigma_u \sigma_b \sqrt{\sigma_u^2 + \sigma_b^2}} \right]} \right] < 0 \end{aligned} \right.$$

Из (30) и (1) с учетом независимости p_n от социально-экономических факторов следует:

$$\frac{dp}{d(fH)} = -k \exp \left[- \frac{\left[\ln \left(1 + \frac{\mu}{\frac{1-p}{p} fH} \right) \right]^2}{2\sigma_u^2} \right] \rho_{\left[\ln \left(\mu + \frac{1-p}{p} fH \right) - \ln \left(\frac{1-p}{p} \eta \right), \sigma_u^2 + \sigma_b^2 \right]}(0) \times \left[\frac{\Phi \left[\frac{\ln \left[\frac{\frac{1-p}{p} fH + \varepsilon}{\mu + \frac{1-p}{p} fH} \right] \sigma_b^2 + \ln \left[\frac{\frac{1-p}{p} fH + \varepsilon}{\frac{1-p}{p} \eta} \right] \sigma_u^2}{\sigma_u \sigma_b \sqrt{\sigma_u^2 + \sigma_b^2}} \right]}{\Phi \left[\frac{\ln \left[\frac{\frac{1-p}{p} fH}{\mu + \frac{1-p}{p} fH} \right] \sigma_b^2 + \ln \left[\frac{\frac{1-p}{p} fH}{\frac{1-p}{p} \eta} \right] \sigma_u^2}{\sigma_u \sigma_b \sqrt{\sigma_u^2 + \sigma_b^2}} \right]} \right] < 0 \tag{31}$$

Распределение логарифма величины легальных доходов ($\ln(d)$) собственников объектов в регионе можно представить функцией нормального распределения $\rho_{N(\ln(D), \sigma_d^2)}(\ln(d))$ [8]. При этом логично предположить, что медианное значение μ и дисперсия σ_u^2 распределения величины убытков от пожаров собственников объектов увеличиваются или уменьшаются в ту же сторону, что и медианное значение D и дисперсия σ_d^2 распределения величины легальных доходов собственников объектов, вложения от которых аккумулируются в стоимости объектов и могут быть потеряны при пожаре. Тогда можно ожидать, что знаки производных $\frac{dp}{d \ln(D)}$ и

$\frac{dp}{d \ln(\mu)}$ совпадают, аналогично можно ожидать совпадения знаков производных $\frac{dp}{d(\sigma_d)}$ и $\frac{dp}{d(\sigma_u)}$.

Выводы. На основе анализа математической модели рационального правонарушителя получена оценка изменения вероятности возникновения пожаров на хозяйственных объектах при изменениях следующих экономических факторов: медианного значения логнормального распределения величины убытков от пожаров на объектах; медианного значения логнормального распределения легальных доходов собственников объектов; дисперсии нормального распределения логарифма величины убытков от пожаров на объектах; дисперсии нормального распределения логарифма величины легальных доходов собственников объектов; среднего значения штрафных санкций за нарушение требований пожарной безопасности.

Библиографический список

1. **Белозеров, В.В.** Модель оптимизации социально-экономических потерь от пожаров / В.В. Белозеров, Е.И. Богуславский, Н.Г. Топольский // Проблемы информационной экономики. Вып. VI. Моделирование инновационных процессов и экономической динамики: сб. науч. тр. / под ред. Р.М. Нижегородова. – М.: Ленанд, 2006. – С. 226-246.
2. **Тростянский, С.Н.** Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация / С.Н. Тростянский, Ю.Н. Зенин, С.В. Скрьль, А.В. Калач. – № 4 – 2013. – С. 28-33.
3. **Тростянский, С.Н.** Математическая модель и алгоритмы расчета уровня региональных пожарных рисков на объектах надзора / С.Н. Тростянский, Ю.Н. Зенин, Г.А. Бакаев // Системы управления и информационные технологии. – 2014. – № 1.1 (55). – С. 204-208.
4. **Becker, G.** Crime and Punishment: An Economic Approach / G. Becker // Journal of Political Economy. – 76. – 1968. – P. 169-217.
5. **Брушлинский, Н.Н.** Основы теории пожарных рисков и ее приложение: монография / Брушлинский Н.Н., Соколов С.В., Клепко Е.А., Белов В.А., Иванова О.В., Попков С.Ю. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. – 192 с.
6. **Харисов, Г.Х., Тетерин, И.М.** Экономический эквивалент человеческой жизни: монография / Г.Х. Харисов, И.М. Тетерин. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2008. – 57 с.
7. **Климкин В.И.** Анализ влияния последствий пожаров на устойчивость социально-экономического развития регионов Российской Федерации / И.В. Климкин, А.В. Матюшин, А.А. Порошин А.А. [и др.] // Пожарная безопасность. – 2012. – №1. – С.74 – 84.
8. **Суворов, А.В.** Проблемы анализа дифференциации доходов населения и построения дифференцированного баланса денежных доходов и расходов населения / А.В. Суворов // Проблемы прогнозирования. – 2001. – № 1. – С. 58-74.
9. **Акимов, В.А.** Введение в статистику экстремальных значений и её приложения: монография / В.А. Акимов, А.А. Быков, Е.Ю. Щетинин. – М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2009. – 524 с.
10. **Фихтенгольц, Г.М.** Курс дифференциального и интегрального исчисления / Г.М. Фихтенгольц. – М.: ФМЛ, 1970. – 2 т. – 800 с.
11. **Андриенко, Ю.В.** Экономика преступления: Теоретическое и эмпирическое исследование определяющих факторов преступности (криминометрический подход): дис. ... канд. экон. наук / Андриенко Юрий Валерьевич. – М., 2003. – 133 с.
12. **Гмурман, В.Е.** Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие / В.Е. Гмурман. – 10-е изд., стереотипное. – М.: Высшая школа, 2004. – 480 с.

References

1. **Belozero, V.V.** Model optimizatsii sotsialno-ekonomicheskikh poter ot pozharov / V.V. Belozero, E.I. Boguslavskiy, N.G. Topolskiy // Problemy informatsionnoy ekonomiki. Vyip. VI. Modelirovanie innovatsionnykh protsessov i ekonomicheskoy dinamiki: sb. nauch. tr. / pod red. R.M. Nizhegorodova. – M.: Lenand, 2006. – S. 226-246.
2. **Trostyanskiy, S.N.** Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvraschenie, likvidatsiya / S.N. Trostyanskiy, Yu.N. Zenin, S.V. Skryil, A.V. Kalach. – № 4 – 2013. – S. 28-33.
3. **Trostyanskiy, S.N.** Matematicheskaya model i algoritmyi rascheta urovnya regionalnykh pozharnykh riskov na ob'ektakh nadzora / S.N. Trostyanskiy, Yu.N. Zenin, G.A. Bakaev // Sistemyi upravleniya i informatsionnyie tehnologii. – 2014. – № 1.1 (55). – S. 204-208.
4. **Becker, G.** Crime and Punishment: An Economic Approach / G. Becker // Journal of Political Economy. – 76. – 1968. – P. 169-217.
5. **Brushlinskiy, N.N.** Osnovy teorii pozharnykh riskov i ee prilozhenie: monografiya / Brushlinskiy N.N., Sokolov S.V., Klepko E.A., Belov V.A., Ivanova O.V., Popkov S.Yu. – M.: Akademiya GPS MChS Rossii, 2012. – 192 s.
6. **Harisov, G.H., Teterin, I.M.** Ekonomicheskii ekvivalent chelovecheskoy zhizni: monografiya / G.H. Harisov, I.M. Teterin. – 2-e izd., ispr. i dop. – M.: Akademiya GPS MChS Rossii, 2008. – 57 s.
7. **Klimkin V.I.** Analiz vliyaniya posledstviy pozharov na ustoychivost sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya regionov Rossiyskoy Federatsii / I.V. Klimkin, A.V. Matyushin, A.A. Poroshin A.A. [i dr.] // Pozharnaya bezopasnost. – 2012. – №1. – S.74 – 84.
8. **Suvorov, A.V.** Problemyi analiza differentsiatsii dohodov naseleniya i postroeniya differentsirovannogo balansa denezhnykh dohodov i rashodov naseleniya / A.V. Suvorov // Problemyi prognozirovaniya. – 2001. – № 1. – S. 58-74.
9. **Akimov, V.A.** Vvedenie v statistiku ekstremalnykh znacheniy i eYo prilozheniya: monografiya / V.A. Akimov, A.A. Byikov, E.Yu. Schetinin. – M.: FGU VNII GOChS (FTs), 2009. – 524 s.
10. **Fihtengolts, G.M.** Kurs differentsialnogo i integralnogo ischisleniya / G.M. Fihtengolts. – M.: FML, 1970. – 2 t. – 800 s.
11. **Andrienko, Yu.V.** Ekonomika prestupleniya: Teoreticheskoe i empiricheskoe issledovanie opredelyayuschih faktorov prestupnosti (kriminometricheskii podhod): dis. ... kand. ekon. nauk / Andrienko Yuriy Valerevich. – M., 2003. – 133 s.
12. **Gmurman, V.E.** Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika: ucheb. posobie / V.E. Gmurman. – 10-e izd., stereotipnoe. – M.: Vysshaya shkola, 2004. – 480 s.

ANALYSIS OF THE CHANGES IN FIRE OCCURRENCE PROBABILITY AT THE ECONOMIC OBJECTS UNDER ALTERATION OF THE ECONOMIC FACTORS

Trostyanskiy Sergey Nikolaevich,

Voronezh Institute of the State Fire Service EMERCOM of Russia,
Doctor of Technical Sciences, Docent; e-mail: trostyansky2012@yandex.

Zenin Yury Nikolaevich,

Voronezh Institute of the State Fire Service EMERCOM of Russia;
e-mail: vigps@mail.ru

Basing on the mathematical model of rational offender an estimation of the changes in the probability of the fire occurrence at the economic objects under the changes of the median value for the log-normal distribution of the losses value at the objects. Similar estimation was obtained under the changes in the normal distribution variance for logarithm of the losses due to the fire damages and with changes in the average value of penalties for violation of fire safety requirements.

Keywords: *mathematical simulation, fire occurrence probability, rational offender model, economic factors.*

ФУНКЦИЯ ВЛИЯНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ЧЕТВЕРТОГО ПОРЯДКА

А.Д. Баев, С.А. Шабров, Ф.В. Голованёва, Меач Мон

В работе доказывается существование и единственность функции влияния одной граничной задачи, которая возникает при моделировании малых деформаций стержневой системы с особенностью, приводящей к потере гладкости у решения и при анализе математической модели колебаний стержня. При изучении возможности обращения задачи мы используем поточечный подход, предложенный Ю.В. Покорным в 1999 году и показавший свою эффективность при анализе не только линейных краевых задач второго порядка (удалось создать точную параллель классической теории обыкновенных дифференциальных уравнений, вплоть до осцилляционных теорем), но и нелинейных задач.

Ключевые слова: математическая модель, стержневая система, производная по мере, граничная задача.

Введение. В работе изучается функция влияния математической модели четвертого порядка, при этом мы вводим ее, отталкиваясь не от аксиоматического подхода, а используя подход, предложенный Ю. В. Покорным в [1]; доказывается ее существование и единственность в классе непрерывных функций, исследуются ее свойства.

Изучаемая ниже математическая модель возникает при описании малых деформаций стержневой системы, имеющей внутренние особенности и помещенной во внешнюю среду с локализованными особенностями типа пружины. Мы используем поточечный подход (см. [1]), показавший свою эффективность (см., например, [2]—[10]). Также отметим работы [11]—[15].

Основной результат. Математическая модель

$$\begin{cases} Lu \equiv (pu_{x\mu})_{x\sigma} - (ru_x)_\sigma + uQ_\sigma = F_\sigma, \\ l_j u = 0 \quad (j = 1, 2, 3, 4), \end{cases} \quad (1)$$

где $l_1 u = u(0)$, $l_2 u = u_{x\mu}(0)$, $l_3 u = u_{x\mu}(\ell)$, $l_4 u = u(\ell)$,

возникает при описании малых деформаций системы, состоящей из стержней соединенных шарнирно, помещенной во внешнюю среду с локализованными особенностями типа пружины, и закрепленной на концах (см. [9]).

Решение математической модели ищется в классе E абсолютно непрерывных на $[0; \ell]$ функций, первая производная которых μ -абсолютно непрерывна на $[0; \ell]$, $pu_{x\mu}(x)$ - абсолютно непрерывна на $[0; \ell]$ и $(pu_{x\mu})_x(x)$ - σ -абсолютно непрерывна на $[0; \ell]$.

Функция $\sigma(x)$, порождающая на $[0; \ell]$ меру σ , содержит все особенности системы: и точки шарнирного соединения стержней, и точки в которых приложены сосредоточенные силы, и особенности внешней среды. Функция $\mu(x)$ соизмерима с наблюдаемым процессом.

На коэффициенты $p(x), r(x), Q(x), F(x)$ мы накладываем вполне физические условия: 1) все они σ -абсолютно непрерывны; 2) $\inf_{[0; \ell]} p(x) > 0$; 3) $r(x) \geq 0$; 4) $Q(x)$ не убывает на $[0; \ell]$.

Уравнение в (1) определено на специальном расширении $\overline{[0; \ell]}_\sigma$ отрезка $[0; \ell]$, которое строится следующим образом. Пусть $S(\sigma)$ множество точек разрыва функции $\sigma(x)$. На $J_\sigma = [0; \sigma] \setminus S(\sigma)$ введем метрику $\rho(x; y) = |\sigma(x) - \sigma(y)|$.

Очевидно, что $(J_\sigma; \rho)$ не является полным. Стандартное пополнение $(J_\sigma; \rho)$ приводит к $\overline{[0; \ell]}_S$. В этом множестве точка ξ из $S(\sigma)$ заменена собственными элементами $\xi - 0; \xi + 0$. Множество $\overline{[0; \ell]}_\sigma = \overline{[0; \ell]}_S \cup S(\sigma)$.

Определение 1. Функцией влияния матема-

Баев А.Д., доктор физ.-мат. наук, проф., Воронежский государственный университет, Россия, г. Воронеж;

Шабров С.А., канд. физ.-мат. наук, доц. Воронежский государственный университет, Россия, г. Воронеж;

Голованёва Ф.В., канд. физ.-мат. наук, преподаватель, Воронежский государственный университет, Россия, г. Воронеж;

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

© Баев А.Д., Шабров С.А., Голованева Ф.В., Меач Мон

тической модели (1) будем называть непрерывную по совокупности переменных x, s (на квадрате $\overline{[0; \ell]_s} \times \overline{[0; \ell]_s}$) функцию $G(x, s)$, позволяющую получить решение (1) в виде

$$u(x) = \int_0^\ell G(x, s) F_\sigma(s) d\sigma(s) \quad (2)$$

для любой σ -абсолютной непрерывной функции $F(x)$.

На множестве $\overline{[0; \ell]_s} \times \overline{[0; \ell]_s}$ определим функцию

$$K(x, s) = \frac{1}{(pW)(s)} \begin{vmatrix} \varphi_1(s) & \varphi_2(s) & \varphi_3(s) & \varphi_4(s) \\ \varphi_{1_x}(s) & \varphi_{2_x}(s) & \varphi_{3_x}(s) & \varphi_{4_x}(s) \\ (p\varphi_{1_{x\mu}})(s) & (p\varphi_{2_{x\mu}})(s) & (p\varphi_{3_{x\mu}})(s) & (p\varphi_{4_{x\mu}})(s) \\ \varphi_1(x) & \varphi_2(x) & \varphi_3(x) & \varphi_4(x) \end{vmatrix}. \quad (3)$$

Формулу (3) перепишем в виде

$$K(x, s) = \frac{1}{(pW)(s)} \sum_{i=1}^4 (-1)^i \alpha_i(s) \varphi_i(x), \quad (4)$$

где $\alpha_i(s)$ – минор к элементу $\varphi_i(x)$, стоящему на пересечении четвертой строки и i -го столбца определителя в правой части (3).

Покажем, что у функций $\alpha_i(s)$ ($i = 1, 2, 3, 4$),

$$\Delta \alpha_1(s) = \alpha_1(s+0) - \alpha_1(s-0) = - \begin{vmatrix} \varphi_2(s) & \varphi_3(s) & \varphi_4(s) \\ \Delta \varphi_{2_x}(s) & \Delta \varphi_{3_x}(s) & \Delta \varphi_{4_x}(s) \\ (p\varphi_{2_{x\mu}})(s) & (p\varphi_{3_{x\mu}})(s) & (p\varphi_{4_{x\mu}})(s) \end{vmatrix}. \quad (5)$$

Если s точка непрерывности производной $\varphi_{i_x}(s)$, т. е. s не принадлежит $S(\mu)$ ($\subset S(\sigma)$), то $\Delta \varphi_{i_x}(s) = 0$, и поэтому $\Delta \alpha_1(s) = 0$. Если же s принадлежит множеству $S(\mu)$, то в определении (5) вторая и третья строки пропорциональны, так как $(p\varphi_{i_{x\mu}})(s) = p(s) \cdot \frac{\Delta \varphi_{i_x}(s)}{\Delta \mu(s)}$. Таким образом, непрерывность $\alpha_1(s)$ доказана.

Из (4) и непрерывности $\alpha_i(s)$ непосредственно следуют следующие свойства $K(x, s)$:

1. $K(x, s)$ непрерывна по совокупности переменных и для всех s $K(s, s) = 0$.
2. Производная $K_x(x, s)$, определенная на $\overline{[0; \ell]_s} \times \overline{[0; \ell]_s}$, при каждом s является μ -абсолютно непрерывной на $\overline{[0; \ell]_{S(\mu)}}$ функцией (по x); $r(x)K_x(x, s)$ – σ -абсолютно непрерывна на $\overline{[0; \ell]_s}$; $K_x(s, s) = 0$.
3. Вторая производная $K_{x\mu}(x, s)$ такова, что

Следующая теорема дает достаточные условия существования функции влияния.

Теорема 1. Пусть модель (1) невырождена. Тогда функция влияния (1) существует и единственна.

Доказательство. Пусть $\{\varphi_i(x)\}_{i=1}^{i=4}$ – фундаментальная система решений однородного уравнения $Lu = 0$, такая, что $l_j \varphi_i = \delta_i^j$, где δ_i^j – символ Кронекера, равный 1, если $i = j$, и нулю в противном случае. Такая система существует в силу невырожденности модели.

определенных на $\overline{[0; \ell]_s}$, нет ненулевых скачков, и, следовательно, могут быть доопределены по непрерывности в точках множества $S(\sigma)$. Рассуждения проведем для $\alpha_1(s)$. Для $\alpha_2(s)$, $\alpha_3(s)$ и $\alpha_4(s)$ рассуждения аналогичны. Так как $\varphi_i(x)$ и $(p\varphi_{i_{x\mu}})(x)$ – непрерывны, то

$p(x)K_{x\mu}(x, s)$ – абсолютно непрерывна на $[0; \ell]$ по переменной x при каждом фиксированном s и $p(s)K_{x\mu}(s, s) = 0$.

4. Третья производная $(p(x)K_{x\mu})_x(x, s)$, определенная на $\overline{[0; \ell]_s} \times \overline{[0; \ell]_s}$, σ -абсолютно непрерывная на $\overline{[0; \ell]_s}$ по переменной x при каждом s , и $(p(s)K_{x\mu})_x(s, s) = 1$.

5. При каждом s и почти каждом x существуют σ -производные $(pK_{x\mu})_{x\sigma}(x, s)$ и $(rK_x)_\sigma(x, s)$, и при $x \neq s$ функция $K(x, s)$ удовлетворяет однородному условию.

На множестве $\overline{[0; \ell]_s}$ определим функцию

$$v(x) = \int_0^x K(x, s) F_\sigma(s) d\sigma(s). \quad (6)$$

Из первого свойства $K(x, s)$ следует отсутствие ненулевых скачков у $v(x)$. Доопределим ее по непрерывности во всех точках отрезка $[0; \ell]$.

Продолженную функцию будем, для простоты, обозначать также как и исходную.

Используя (4), равенство (6) позволяет переписать в виде

$$v(x) = \frac{1}{(pW)(0)} \sum_{i=1}^4 (-1)^i \varphi_i(x) \int_0^x \alpha_i(s) F_\sigma(s) d\sigma(s), \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \frac{v(x+\varepsilon) - v(x+0)}{\varepsilon} &= \frac{1}{(pW)(0)} \sum_{i=1}^4 (-1)^i \frac{\varphi_i(x+\varepsilon) - \varphi_i(x+0)}{\varepsilon} \int_0^{x+\varepsilon} \alpha_i(s) F_\sigma(s) d\sigma(s) + \\ &+ \frac{1}{(pW)(0)} \sum_{i=1}^4 (-1)^i \frac{\varphi_i(x+0)}{\varepsilon} \int_{x+0}^{x+\varepsilon} \alpha_i(s) F_\sigma(s) d\sigma(s). \end{aligned} \quad (8)$$

Так как $\frac{\varphi_i(x+\varepsilon) - \varphi_i(x+0)}{\varepsilon} \rightarrow \varphi_{i,x}(x+0)$ и $\int_0^{x+\varepsilon} \alpha_i(s) F_\sigma(s) d\sigma(s) \rightarrow \int_0^{x+0} \alpha_i(s) F_\sigma(s) d\sigma(s)$ при $\varepsilon \rightarrow +0$, то первая сумма в (8) стремится к $\frac{1}{(pW)(0)} \sum_{i=1}^4 (-1)^i \varphi_{i,x}(x+0) \int_0^{x+0} \alpha_i(s) F_\sigma(s) d\sigma(s) = \int_0^{x+0} K_x(x+0, s) F_\sigma(s) d\sigma(s)$.

Покажем, что вторая сумма в правой части (8) стремится к нулю. Так как $\int_{x+0}^{x+\varepsilon} \alpha_i(s) F_\sigma(s) d\sigma(s) = \int_{x+0}^{x+\varepsilon} \alpha_i(s) dF(s)$ (см., например, [2]), то для второй суммы в правой части (8) мы имеем

Тогда (обозначая $K_i = k_i^{(1)} - \varphi_i(x+0)$)

$$\begin{aligned} \frac{1}{\varepsilon} \int_{x+0}^{x+\varepsilon} K(x+0, s) dF(s) &= \int_{x+0}^{x+\varepsilon} \frac{s-x}{(pW)(0)\varepsilon} \begin{vmatrix} K_1 & K_2 & K_3 & K_4 \\ \varphi_{1,x}(s) & \varphi_{2,x}(s) & \varphi_{3,x}(s) & \varphi_{4,x}(s) \\ (p\varphi_{1,x\mu})(s) & (p\varphi_{2,x\mu})(s) & (p\varphi_{3,x\mu})(s) & (p\varphi_{4,x\mu})(s) \\ \varphi_1(x+0) & \varphi_2(x+0) & \varphi_3(x+0) & \varphi_4(x+0) \end{vmatrix} dF(s) + \\ &+ \int_{x+0}^{x+\varepsilon} \frac{s-x}{(pW)(0) \cdot \varepsilon} \begin{vmatrix} \varphi_{1,x}(x+0) & \varphi_{2,x}(x+0) & \varphi_{3,x}(x+0) & \varphi_{4,x}(x+0) \\ \varphi_{1,x}(s) & \varphi_{2,x}(s) & \varphi_{3,x}(s) & \varphi_{4,x}(s) \\ (p\varphi_{1,x\mu})(s) & (p\varphi_{2,x\mu})(s) & (p\varphi_{3,x\mu})(s) & (p\varphi_{4,x\mu})(s) \\ \varphi_1(x+0) & \varphi_2(x+0) & \varphi_3(x+0) & \varphi_4(x+0) \end{vmatrix} dF(s). \end{aligned} \quad (9)$$

Оба слагаемых в правой части равенства (9) стремятся к нулю. В самом деле, для первого из них мы

так как $(pW)(s)$ есть константа.

Найдем производную функции $v(x)$. Для этого рассмотрим отношение $\frac{v(x+\varepsilon) - v(x+0)}{\varepsilon}$ при $\varepsilon > 0$. Как нетрудно видеть, его можно представить в виде суммы

$$\begin{aligned} \frac{1}{(pW)(0)} \sum_{i=1}^4 (-1)^i \frac{\varphi_i(x+0)}{\varepsilon} \int_{x+0}^{x+\varepsilon} \alpha_i(s) F_\sigma(s) d\sigma(s) &= \\ = \frac{1}{\varepsilon} \int_{x+0}^{x+\varepsilon} K(x+0, s) dF(s). \end{aligned}$$

Заметим, что последний интеграл существует по Риману-Стилтьеса, так как $K(x+0, s)$ непрерывна и $F(x)$ имеет конечное на $[\overline{0; \ell}]_s$ изменение.

Так как $\varphi_i(s) - \varphi_i(x) = \int_x^s \varphi_{i,x}(t) dt$, то при некотором $k_i^{(1)}$, принадлежащем $\left[\inf_{x < t \leq x+\varepsilon} \varphi_{i,x}(t), \sup_{x < t \leq x+\varepsilon} \varphi_{i,x}(t) \right]$, $\varphi_i(s) - \varphi_i(x) = k_i^{(1)}(s-x)$. При этом $k_i^{(1)} \rightarrow \varphi_{i,x}(x+0)$ при $\varepsilon \rightarrow +0$ ввиду существования предела $\varphi_{i,x}(\tau)$ при всех τ из $[\overline{0; \ell}]_s$.

имеем оценку (так как при всех s , принадлежащих отрезку $[x; x+\varepsilon]$, справедливо неравенство $\frac{s-x}{\varepsilon} \leq 1$)

$$\left| \int_{x+0}^{x+\varepsilon} \frac{s-x}{(pW)(0)\varepsilon} \begin{vmatrix} K_1 & K_2 & K_3 & K_4 \\ \varphi_{1,x}(s) & \varphi_{2,x}(s) & \varphi_{3,x}(s) & \varphi_{4,x}(s) \\ p\varphi_{1,x\mu}(s) & p\varphi_{2,x\mu}(s) & p\varphi_{3,x\mu}(s) & p\varphi_{4,x\mu}(s) \\ \varphi_1(x+0) & \varphi_2(x+0) & \varphi_3(x+0) & \varphi_4(x+0) \end{vmatrix} dF(s) \right| \leq$$

$$\leq \frac{\mathbf{V}(F)}{|(pW)(0)|} \sup_{x < s \leq x+\varepsilon} \begin{vmatrix} K_1 & K_2 & K_3 & K_4 \\ \varphi_{1,x}(s) & \varphi_{2,x}(s) & \varphi_{3,x}(s) & \varphi_{4,x}(s) \\ p\varphi_{1,x\mu}(s) & p\varphi_{2,x\mu}(s) & p\varphi_{3,x\mu}(s) & p\varphi_{4,x\mu}(s) \\ \varphi_1(x+0) & \varphi_2(x+0) & \varphi_3(x+0) & \varphi_4(x+0) \end{vmatrix},$$

причем супремум конечен и $\mathbf{V}(F) \rightarrow 0$ при $\varepsilon \rightarrow +0$.

Для второго слагаемого последовательно находим

$$\left| \int_{x+0}^{x+\varepsilon} \frac{s-x}{(pW)(0)\varepsilon} \begin{vmatrix} \varphi_{1,x}(x+0) & \varphi_{2,x}(x+0) & \varphi_{3,x}(x+0) & \varphi_{4,x}(x+0) \\ \varphi_{1,x}(s) & \varphi_{2,x}(s) & \varphi_{3,x}(s) & \varphi_{4,x}(s) \\ p\varphi_{1,x\mu}(s) & p\varphi_{2,x\mu}(s) & p\varphi_{3,x\mu}(s) & p\varphi_{4,x\mu}(s) \\ \varphi_1(x+0) & \varphi_2(x+0) & \varphi_3(x+0) & \varphi_4(x+0) \end{vmatrix} dF(s) \right| \leq$$

$$\leq \sup_{x+0 < s \leq x+\varepsilon} \begin{vmatrix} \varphi_1(x+0) & \varphi_2(x+0) & \varphi_3(x+0) & \varphi_4(x+0) \\ \varphi_1(s) & \varphi_2(s) & \varphi_3(s) & \varphi_4(s) \\ p\varphi_{1,x\mu}(s) & p\varphi_{2,x\mu}(s) & p\varphi_{3,x\mu}(s) & p\varphi_{4,x\mu}(s) \\ \varphi_1(x+0) & \varphi_2(x+0) & \varphi_3(x+0) & \varphi_4(x+0) \end{vmatrix} \frac{\mathbf{V}(F)}{|(pW)(0)|} \rightarrow 0$$

при $\varepsilon \rightarrow +0$, так как супремум конечен и $\mathbf{V}(F)$ стремится к нулю при $\varepsilon \rightarrow +0$. Таким образом

$$v'(x) = \int_0^x K_x(x, s) F_\sigma(s) d\sigma(s) \quad (x \in [\overline{0}; \ell]_s). \quad (10)$$

Равенство (10) мы доказали для правых производных, для левых – рассуждения проводятся аналогично. Покажем, что справедливо равенство

$$v_{x\mu}(x) = \int_0^x K_{x\mu}(x, s) F_\sigma(s) d\sigma(s) \quad (x \in [\overline{0}; \ell]_\mu). \quad (11)$$

Для этого отношение $\frac{v'_x(x+\varepsilon) - v'_x(x+0)}{\mu(x+\varepsilon) - \mu(x+0)}$ представим в виде суммы

$$\frac{v'_x(x+\varepsilon) - v'_x(x+0)}{\mu(x+\varepsilon) - \mu(x+0)} = \int_0^{x+\varepsilon} \left[\frac{K_x(x+\varepsilon, s) - K_x(x+0, s)}{\mu(x+\varepsilon) - \mu(x+0)} - K_{x\mu}(x+0, s) \right] F_\sigma(s) d\sigma(s) + \int_0^{x+\varepsilon} K_{x\mu}(x+0, s) F_\sigma(s) d\sigma(s) + \int_{x+0}^{x+\varepsilon} \frac{K_x(x+0, s)}{\mu(x+\varepsilon) - \mu(x+0)} F_\sigma(s) d\sigma(s). \quad (12)$$

Выражение в квадратных скобках первого слагаемого в правой части (12) равно

$$\frac{K_x(x+\varepsilon, s) - K_x(x+0, s)}{\mu(x+\varepsilon) - \mu(x+0)} - K_{x\mu}(x+0, s) = \sum_{i=1}^4 \frac{(-1)^i \alpha_i(s)}{(pW)(0)} \left(\frac{\varphi_{i,x}(x+\varepsilon) - \varphi_{i,x}(x+0)}{\mu(x+\varepsilon) - \mu(x+0)} - \varphi_{i,x\mu}(x+0) \right).$$

Откуда следует, что $\frac{K_x(x+\varepsilon, s) - K_x(x+0, s)}{\mu(x+\varepsilon) - \mu(x+0)}$ сходится равномерно к $K_{x\mu}(x+0, s)$ на $[0; \ell]$ при $\varepsilon \rightarrow +0$. Тогда, первое слагаемое в (12) стремится к нулю при $\varepsilon \rightarrow +0$.

Второе слагаемое, очевидно, неограниченно приближается при $\varepsilon \rightarrow +0$ к $\int_0^{x+0} K_{x\mu}(x+0, s)F_\sigma(s) d\sigma(s)$.

Введя обозначение $\varphi_i(s) = \frac{\varphi_{i,x}(s) - \varphi_{i,x}(x+0)}{\mu(x+\varepsilon) - \mu(x+0)}$, для третьего слагаемого мы последовательно находим

$$\int_{x+0}^{x+\varepsilon} \frac{K_x(x+0, s)}{\mu(x+\varepsilon) - \mu(x+0)} F_\sigma(s) d\sigma(s) = \int_{x+0}^{x+\varepsilon} \frac{1}{(pW)(0)} \begin{vmatrix} \varphi_1(s) & \varphi_2(s) & \varphi_3(s) & \varphi_4(s) \\ \varphi_1(s) & \varphi_2(s) & \varphi_3(s) & \varphi_4(s) \\ p\varphi_{1,x\mu}(s) & p\varphi_{2,x\mu}(s) & p\varphi_{3,x\mu}(s) & p\varphi_{4,x\mu}(s) \\ \varphi_1(x+0) & \varphi_2(x+0) & \varphi_3(x+0) & \varphi_4(x+0) \end{vmatrix} F_\sigma(s) d\sigma(s),$$

откуда, в силу равенства

$$\varphi_{i,x}(s) - \varphi_{i,x}(x+0) = \int_{x+0}^s \varphi_{i,x\mu}(t) d\mu(t) = k_i^{(2)}(\mu(s) - \mu(x+0)),$$

справедливого при некотором $k_i^{(2)} \in \left[\inf_{x+0 < t \leq x+\varepsilon} \varphi_{i,x\mu}(t), \sup_{x+0 < t \leq x+\varepsilon} \varphi_{i,x\mu}(t) \right]$, следует ($K_i^{(2)} = k_i^{(2)} - \varphi_{i,x\mu}(x+0)$)

$$\begin{aligned} & \int_{x+0}^{x+\varepsilon} \frac{K_x(x+0, s)}{\mu(x+\varepsilon) - \mu(x+0)} F_\sigma(s) d\sigma(s) = \\ & = \int_{x+0}^{x+\varepsilon} \frac{\mu(s) - \mu(x+0)}{(\mu(x+\varepsilon) - \mu(x+0))(pW)(0)} \begin{vmatrix} \varphi_1(s) & \varphi_2(s) & \varphi_3(s) & \varphi_4(s) \\ K_1^{(2)} & K_2^{(2)} & K_3^{(2)} & K_4^{(2)} \\ p\varphi_{1,x\mu}(s) & p\varphi_{2,x\mu}(s) & p\varphi_{3,x\mu}(s) & p\varphi_{4,x\mu}(s) \\ \varphi_{1,x}(x+0) & \varphi_{2,x}(x+0) & \varphi_{3,x}(x+0) & \varphi_{4,x}(x+0) \end{vmatrix} F_\sigma(s) d\sigma(s) + \\ & + \int_{x+0}^{x+\varepsilon} \frac{\mu(s) - \mu(x+0)}{(\mu(x+\varepsilon) - \mu(x+0))(pW)(0)} \times \\ & \times \begin{vmatrix} \varphi_1(s) & \varphi_2(s) & \varphi_3(s) & \varphi_4(s) \\ \varphi_{1,x\mu}(x+0) & \varphi_{2,x\mu}(x+0) & \varphi_{3,x\mu}(x+0) & \varphi_{4,x\mu}(x+0) \\ p\varphi_{1,x\mu}(s) & p\varphi_{2,x\mu}(s) & p\varphi_{3,x\mu}(s) & p\varphi_{4,x\mu}(s) \\ \varphi_{1,x}(x+0) & \varphi_{2,x}(x+0) & \varphi_{3,x}(x+0) & \varphi_{4,x}(x+0) \end{vmatrix} F_\sigma(s) d\sigma(s). \end{aligned} \tag{13}$$

Проводя рассуждения, аналогичные проведенным для (9), делаем вывод, что оба слагаемых в правой части (13) стремятся к нулю, следовательно,

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow +0} \int_{x+0}^{x+\varepsilon} \frac{K'_x(x+0, s)}{\mu(x+\varepsilon) - \mu(x+0)} F_\sigma(s) d\sigma(s) = 0.$$

Тогда, переходя к пределу $\varepsilon \rightarrow +0$ в равенстве (12) будем иметь

$$v_{x\mu}(x+0) = \int_0^{x+0} K_{x\mu}(x+0, s)F_\sigma(s) d\sigma(s). \tag{14}$$

Аналогично доказывается равенство (14) для левых производных.

Для точек x , принадлежащих множеству $S(\mu)$, последовательно имеем

$$\begin{aligned} \Delta v_x(x) &= v'_{x\mu}(x+0) - v'_{x\mu}(x-0) = \int_0^{x+0} K'_{x\mu}(x+0, s)F_\sigma(s) d\sigma(s) - \int_0^{x-0} K'_{x\mu}(x-0, s)F_\sigma(s) d\sigma(s) = \\ &= \int_0^{x+0} \Delta K_x(x, s)F_\sigma(s) d\sigma(s) + K_x(x-0, x)\Delta F(x). \end{aligned}$$

Но $K_x(x-0, x) = 0$, поэтому, последнее равенство принимает вид

$$\Delta v_x(x) = \int_0^{x+0} \Delta K_x(x, s)F_\sigma(s) d\sigma(s) = \int_0^{x-0} \Delta K_x(x, s)F_\sigma(s) d\sigma(s). \tag{15}$$

Равенства (14) и (15) вместе дают

$$v_{x\mu}(x) = \int_0^x K_{x\mu}(x,s)F_\sigma(s)d\sigma(s) \quad (16)$$

при всех $x \in [0; \ell]_\mu$, причем в случае когда $x \in S(\mu)$, интегрирование может производиться как в пределах от 0 до $x-0$, так и в пределах от 0 до $x+0$.

Проводя аналогичное рассуждение для отношения $\frac{1}{\varepsilon}((pv_{x\mu})'(x+\varepsilon)-(pv_{x\mu})'(x+0))$ мы придем к равенству

$$\begin{aligned} \frac{(pv_{x\mu})'(x+\varepsilon)-(pv_{x\mu})'(x+0)}{\sigma(x+\varepsilon)-\sigma(x+0)} &= \int_0^{x+\varepsilon} \frac{(pK_{x\mu})_x(x+\varepsilon,s)-(pK_{x\mu})'_x(x+0,s)}{\sigma(x+\varepsilon)-\sigma(x+0)} F_\sigma(s)d\sigma(s) + \\ &+ \int_{x+0}^{x+\varepsilon} \frac{(pK_{x\mu})'_x(x+0,s)-1}{\sigma(x+\varepsilon)-\sigma(x+0)} F_\sigma(s)d\sigma(s) + \frac{1}{\sigma(x+\varepsilon)-\sigma(x+0)} \int_{x+0}^{x+\varepsilon} F_\sigma(s)d\sigma(s). \end{aligned} \quad (18)$$

Также как и при доказательстве (11) устанавливается равномерная сходимость $\frac{(pK_{x\mu})_x(x+\varepsilon,s)-(pK_{x\mu})'_x(x+0,s)}{\sigma(x+\varepsilon)-\sigma(x+0)}$ к $(pK_{x\mu})''_{x\sigma}(x+0,s)$ при $\varepsilon \rightarrow +0$. Тогда, первое слагаемое в (18) в пределе нам дает

$$\begin{aligned} &\int_{x+0}^{x+\varepsilon} \frac{(pK_{x\mu})_x(x+0,s)-1}{\sigma(x+\varepsilon)-\sigma(x+0)} F_\sigma(s)d\sigma(s) = \\ &= \int_{x+0}^{x+\varepsilon} \frac{1}{(pW)(0)} \begin{vmatrix} \varphi_1(s) & \varphi_2(s) & \varphi_3(s) & \varphi_4(s) \\ \varphi_{1,x}(s) & \varphi_{2,x}(s) & \varphi_{3,x}(s) & \varphi_{4,x}(s) \\ p\varphi_{1,x\mu}(s) & p\varphi_{2,x\mu}(s) & p\varphi_{3,x\mu}(s) & p\varphi_{4,x\mu}(s) \\ \psi_1^*(s) & \psi_2^*(s) & \psi_3^*(s) & \psi_4^*(s) \end{vmatrix} \frac{F_\sigma(s)}{\sigma(x+\varepsilon)-\sigma(x+0)} d\sigma(s). \end{aligned}$$

Правую часть последнего равенства можно представить в виде

$$\begin{aligned} &\int_{x+0}^{x+\varepsilon} \frac{(pK''_{x\mu})'_x(x+0,s)-1}{\sigma(x+\varepsilon)-\sigma(x+0)} F'_\sigma(s)d\sigma(s) = \\ &= \int_{x+0}^{x+\varepsilon} \frac{1}{(pW)(0)} \sum_{i=1}^4 (-1)^i \alpha_i(s) \frac{(p\varphi_{i,x\mu})'_x(x+0)-(p\varphi_{i,x\mu})'_x(s)}{\sigma(x+\varepsilon)-\sigma(x+0)} F'_\sigma(s)d\sigma(s). \end{aligned} \quad (19)$$

Так как $(p\varphi_{i,x\mu})'_x(x+0)-(p\varphi_{i,x\mu})'_x(s) = k_i^{(3)}(\sigma(x+0)-\sigma(s))$ при некотором $k_i^{(3)} \in \left[\inf_{x+0 < t \leq s} (p\varphi_{i,x\mu})'_x(t), \sup_{x+0 < t \leq s} (p\varphi_{i,x\mu})'_x(t) \right]$, то из равенства (19) следует оценка

$$\left| \int_{x+0}^{x+\varepsilon} \frac{(pK''_{x\mu})'_x(x+0,s)-1}{\sigma(x+\varepsilon)-\sigma(x+0)} \cdot F'_\sigma(s)d\sigma(s) \right| \leq \frac{1}{|(pW)(0)|} \sum_{i=1}^4 \sup_s |\alpha_i(s)| \sup_s |(p\varphi_{i,x\mu})'_x(s)| \cdot \mathbf{V}_{x+0}^{x+\varepsilon}(F),$$

но сумма в правой части последнего неравенства ограничена и $\mathbf{V}_{x+0}^{x+\varepsilon}(F) \rightarrow 0$ при $\varepsilon \rightarrow +0$. Поэтому

$$(pv_{x\mu})'_x(x) = \int_0^x (pK_{x\mu})_x(x,s)F_\sigma(s)d\sigma(s), \quad (17)$$

которое справедливо не только для правых производных, но и для левых.

Пусть теперь x – точка в которой существуют σ -производные $(p\varphi_{i,x\mu})_{x\sigma}(x)$, $(r\varphi_{i,x})'_\sigma(x)$ ($i=1,2,3,4$), $F_\sigma(x)$ и $Q_\sigma(x)$.

Отношение $\frac{(pv_{x\mu})_x(x+\varepsilon)-(pv_{x\mu})'_x(x+0)}{\sigma(x+\varepsilon)-\sigma(x+0)}$ представим в виде суммы:

$$\int_0^{x+0} (pK_{x\mu})''_{x\sigma}(x+0,s)F_\sigma(s)d\sigma(s).$$

Для второго последовательно находим (через $\psi_i^*(s)$ мы обозначили разность $(p\varphi_{i,x\mu})_x(x+0)-(p\varphi_{i,x\mu})'_x(s)$)

второе слагаемое в равенстве (18) стремится к нулю при $\varepsilon \rightarrow +0$. Для последнего слагаемого в правой части (18), мы имеем $\frac{1}{\sigma(x+\varepsilon) - \sigma(x+0)} \int_{x+0}^{x+\varepsilon} F_\sigma(s) d\sigma(s) = F_\sigma(x+0)$, так как x – точка, в которой производная $F_\sigma(x)$

существует. Таким образом, $(pv_{x\mu})_{x\sigma}(x+0) = \int_0^{x+0} (pK_{x\mu})_{x\sigma}(x+0, s) F_\sigma(s) d\sigma(s) + F_\sigma(x+0)$. Аналогично доказывается равенство для левых производных. Пусть теперь $x \in S(\sigma)$.

Тогда

$$\Delta(pv_{x\mu})_x(x) = (pv_{x\mu})_x(x+0) - (pv_{x\mu})_x(x-0) = \int_0^{x+0} [(pK_{x\mu})_x(x+0, s) - (pK_{x\mu})_x(x-0, s)] F_\sigma(s) d\sigma(s) + \int_{x-0}^{x+0} (pK_{x\mu})_x(x-0, s) F_\sigma(s) d\sigma(s) = \int_0^{x+0} \Delta(pK_{x\mu})_x(x, s) F_\sigma(s) d\sigma(s) + (pK_{x\mu})_x(x-0, x) \Delta F(x).$$

Из свойств $K(x, s)$ следует, что $(pK_{x\mu})_x(x-0, x) = (pK_{x\mu})_x(x+0, x) = 1$. Поэтому

$$\Delta(pv_{x\mu})_x(x) = \int_0^{x+0} \Delta_x(pK_{x\mu})_x(x, s) F_\sigma(s) d\sigma(s) + \Delta F(x),$$

причем интеграл может быть взят в пределах от 0 до $x-0$, так как $(pK_{x\mu})_x(x-0, x) = (pK_{x\mu})_x(x+0, x)$.

Таким образом,

$$(pv_{x\mu})_{x\sigma}(x) = \int_0^x (pK_{x\mu})_{x\sigma}(x, s) F_\sigma(s) d\sigma(s) + F_\sigma(x) \quad (20)$$

для всякого $x \in [0; \ell]_\sigma$, для которого существуют производные $(p\varphi_{i, x\mu})_{x\sigma}(x)$ ($i = 1, 2, 3, 4$), $F_\sigma(x)$ и $Q_\sigma(x)$. Аналогично устанавливается равенство

$$(rv_x)_\sigma(x) = \int_0^x (rK_x)_\sigma(x, s) F_\sigma(s) d\sigma(s). \quad (21)$$

Равенства (20), (21) и (6) вместе показывают, что функция $v(x)$ удовлетворяет неоднородному уравнению

$$(pv_{x\mu})_{x\sigma}(x) - (rv_x)_\sigma(x) + vQ_\sigma(x) = F_\sigma(x). \quad (22)$$

Положим

$$u(x) = v(x) + \sum_{i=1}^4 C_i \varphi_i(x), \quad (23)$$

где C_i – произвольные постоянные; $\{\varphi_i(x)\}_{i=1}^4$, напомним, является фундаментальной системой решений однородного уравнения, функция $v(x)$ определяется равенством (6). Пусть

$$g(x, s) = \begin{cases} 0, & \text{если } 0 \leq x < s \leq \ell, \\ K(x, s), & \text{если } 0 \leq s \leq x \leq \ell. \end{cases}$$

Тогда (6) можно записать в виде

$$v(x) = \int_0^\ell g(x, s) F_\sigma(s) d\sigma(s). \quad (24)$$

Функция $u(x)$, определяемая равенством (23), как нетрудно видеть, является общим решением неоднородного уравнения $Lu = F_\sigma$. Подберем константы C_i так, чтобы $u(x)$ удовлетворяла граничным условиям, т. е. $l_j u = 0$ ($j = 1, 2, 3, 4$), для этого необходимо и достаточно, чтобы

$$l_j v + \sum_{i=1}^4 C_i l_j \varphi_i = 0. \quad (25)$$

Последняя система имеет единственное решение в силу невырожденности математической модели, более того, в силу выбора системы $\{\varphi_i(x)\}$ будем иметь $l_j v + C_j = 0$, откуда следует $C_j = -l_j v$. Таким образом,

$$u(x) = \int_0^\ell g(x, s) F_\sigma(s) d\sigma(s) - \sum_{i=1}^4 \varphi_i(x) l_i(v). \quad (26)$$

Так как l_j непрерывный функционал на пространстве решений, то интеграл и функционал l_j можно поменять местами:

$$l_i(v) = \int_0^\ell l_i(g(\cdot, s)) F_\sigma(s) d\sigma(s), \quad (27)$$

где точка означает по какому аргументу применяется функционал.

Равенство (26) перепишем в виде

$$u(x) = \int_0^\ell \left[g(x, s) - \sum_{i=1}^4 \varphi_i(x) l_i(g(\cdot, s)) \right] F_\sigma(s) d\sigma(s).$$

Тогда функция влияния $G(x, s)$ математической модели (1) имеет вид

$$G(x, s) = g(x, s) - \sum_{i=1}^4 \varphi_i(x) l_i(g(\cdot, s)). \quad (28)$$

Существование функции влияния доказано.

Покажем её единственность. Предположим противное: существуют две различные функции

влияния $G_1(x, s)$ и $G_2(x, s)$. Так как они различны, то найдётся такая внутренняя точка (x_0, s_0) , что $G_1(x_0, s_0) - G_2(x_0, s_0) \neq 0$, причём без ограничения общности можно считать, что $G_1(x_0, s_0) - G_2(x_0, s_0) > 0$. Из непрерывности вытекает существование окрестности $U_\varepsilon(x_0, s_0)$ точки (x_0, s_0) такой, что для всех (x, s) из $U_\varepsilon(x_0, s_0)$ справедливо неравенство $G_1(x, s) - G_2(x, s) \geq \eta_0 > 0$ при некоторой η_0 .

$$\text{В равенство } \int_0^\ell [G_1(x, s) - G_2(x, s)] F_\sigma(s) d\sigma = 0$$

, которое справедливо для любой σ -абсолютно непрерывной функции $F(x)$, подставим функцию

$$F(x) = \begin{cases} 0 & \text{если } x \leq s_0 - \varepsilon, \\ \frac{\sigma(x) - \sigma(s_0 - \varepsilon)}{\sigma(s_0 + \varepsilon) - \sigma(s_0 - \varepsilon)} & \text{если } s_0 - \varepsilon < x < s_0 + \varepsilon, \\ 1 & \text{если } x \geq s_0 + \varepsilon, \end{cases}$$

σ -абсолютная непрерывность которой очевидна, будем иметь

$$0 = \int_0^\ell [G_1(x, s) - G_2(x, s)] F_\sigma(s) d\sigma(s) = \int_{s_0 - \varepsilon}^{s_0 + \varepsilon} \left[\frac{G_1(x, s) - G_2(x, s)}{\sigma(s_0 + \varepsilon) - \sigma(s_0 - \varepsilon)} \right] d\sigma(s).$$

$$\text{Тогда } 0 = \int_{s_0 - \varepsilon}^{s_0 + \varepsilon} \frac{G_1(x, s) - G_2(x, s)}{\sigma(s_0 + \varepsilon) - \sigma(s_0 - \varepsilon)} d\sigma(s) \geq \eta_0 > 0 \text{ для}$$

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–Ливилля 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–Ливилля / Ю.В. Покорный, М.Б. Зверева, А.С. Ищенко, С.А. Шабров // Математические заметки. – 2007. – Т. 82. – № 4. – С. 578-582.
5. **Pokorniy, Yu.V.** An Irregular Extension of the Oscillation Theory of the Sturm-Liouville Spectral Problem / Yu.V. Pokorniy, M.B. Zvereva, S.A. Shabrov, A.S. Ishchenko // Mathematical Notes. – 2007. – Т. 82. – № 3-4. – С. 518-521.
6. **Pokorniy, Yu.V.** Toward a Sturm-Liouville Theory for an Equation with Generalized Coefficients / Yu.V. Pokorniy, 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 Саратовского 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.

всех $x \in [x_0 - \varepsilon, x_0 + \varepsilon]$. Полученное противоречие и доказывает единственность функции влияния. Теорема доказана.

Замечание 1. При доказательстве теоремы мы брали фундаментальную систему $\{\varphi_i(x)\}_{i=1}^4$, биортогональную к функционалам $\{l_j\}_{j=1}^4$, т. е. $l_j \varphi_i = \delta_i^j$, где δ_i^j - символ Кронекера, равный 1, если $i = j$, и 0, если $i \neq j$. В качестве $\{\varphi_i(x)\}$ можно брать произвольную фундаментальную систему. В этом случае формула (28) принимает вид

$$G(x, s) = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} g(x, s) & \varphi_1(x) & \varphi_2(x) & \varphi_3(x) & \varphi_4(x) \\ l_1(g(\cdot, s)) & l_1 \varphi_1 & l_1 \varphi_2 & l_1 \varphi_3 & l_1 \varphi_4 \\ l_2(g(\cdot, s)) & l_2 \varphi_1 & l_2 \varphi_2 & l_2 \varphi_3 & l_2 \varphi_4 \\ l_3(g(\cdot, s)) & l_3 \varphi_1 & l_3 \varphi_2 & l_3 \varphi_3 & l_3 \varphi_4 \\ l_4(g(\cdot, s)) & l_4 \varphi_1 & l_4 \varphi_2 & l_4 \varphi_3 & l_4 \varphi_4 \end{vmatrix},$$

где Δ – определитель матрицы $\|l_j \varphi_i\|_{i,j=1}^4$.

Замечание 2. Найдя $l_j(g(\cdot, s))$, формулу (28)

можно записать в виде

$$G(x, s) = g(x, s) - l_3(g(\cdot, s)) \varphi_3(x) - l_4(g(\cdot, s)) \varphi_4(x),$$

так как $l_1(g(\cdot, s)) \equiv 0$ и $l_2(g(\cdot, s)) \equiv 0$.

Заключение. Наличие функции влияния позволяет применять к анализу математической модели теорию вполне непрерывных операторов. Последнее позволяет показать, что спектр соответствующей спектральной задачи (когда $F_\sigma = \lambda mu$) состоит только из собственных значений.

References

1. **Pokorniy, Yu.V.** Integral Stilesa i proizvodnyie po mere v obyknovennyih differentsialnyih uravneniyah / Yu.V. Pokorniy // DAN. – 1999. – Т. 364 – №2. – С. 167-169.
2. **Pokorniy, Yu.V.** Ostsillyatsionnaya teoriya Shturma–Liuvillya dlya impulsnyih zadach / Yu.V. Pokorniy, M.B. Zvereva, S.A. Shabrov // Uspеhi matematicheskikh nauk. – 2008. – Т. 63 – Vyip. 1. (379). – S. 98-141.
3. **Ostsillyatsionnyiy metod Shturma v spektralnyih zadachah** / Pokorniy Yu.V. i dr. – М.: Fizmatlit, 2009. – 192 s.
4. **Pokorniy, Yu.V.** O neregulyarnom rasshirenii ostsillyatsionnoy teorii spektralnoy zadachi Shturma-Liuvillya / Yu.V. Pokorniy, M.B. Zvereva, A.S. Ischenko, S.A. Shabrov // Matematicheskie zametki. – 2007. – Т. 82. – №4. – S. 578-582.
5. **Pokorniy, Yu.V.** An Irregular Extension of the Oscillation Theory of the Sturm-Liouville Spectral Problem / Yu.V. Pokorniy, M.B. Zvereva, S.A. Shabrov, A.S. Ishchenko // Mathematical Notes. – 2007. – Т. 82. – №3-4. – S. 518-521.
6. **Pokorniy, Yu.V.** Toward a Sturm-Liouville Theory for an Equation with Generalized Coefficients / Yu.V. Pokorniy, S.A. Shabrov // Journal of Mathematical Sciences. – 2004. – Т. 119. – №6. – S. 769-787.
7. **Davyidova, M.B.** O chisle resheniy nelineynoy kraevoy zadachi s integralom Stilesa / M.B. Davyidova, S.A. Shabrov // Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Matematika. Mehanika. Informatika. – 2011. – Т. 11. – №4. – S. 13-17.
8. **Davyidova, M.B.** O nelineynyih teoremah sravneniya dlya differentsialnyih uravneniy vtorogo poryadka s proizvodnyimi Radona-Nikodima / M.B. Davyidova, S.A. Shabrov // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Fizika.

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. **Абдурагимов, Г.Э.** О существовании и единственности положительного решения краевой задачи типа Штурма-Лиувилля для одного нелинейного функционально-дифференциального уравнения второго порядка / Г.Э. Абдурагимов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Физика. Математика. – 2012. – № 1. – С. 77-80.

12. **Поляков, Д.М.** Спектральные свойства дифференциального оператора четвертого порядка / Д.М. Поляков // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Физика. Математика. – 2012. – № 1. – С. 179-181.

13. **Саакян, Г.Г.** Об осцилляционных свойствах решений некоторых систем однородных дифференциальных уравнений / Г.Г. Саакян // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Физика. Математика. – 2010. – № 2. – С. 139-141.

14. **Гриценко, А.В.** Об исследовании квазистатического изгиба консольного стержня при комбинированном внешнем воздействии / А.В. Гриценко // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Физика. Математика. – 2010. – № 1. – С. 94-96.

15. **Исраилов, С.В.** Краевая задача общей структуры для системы ОДУ / С.В. Исраилов, А.А. Сагитов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Физика. Математика. – 2010. – № 1. – С. 107-111.

Математика. – 2013. – №1. – С. 155-160.

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

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

11. **Abduragimov, G.E.** O suschestvovanii i edinstvennosti polozhitelnogo resheniya kraevoy zadachi tipa Shturma-Liuvillya dlya odnogo nelineynogo funktsionalno-differentsialnogo uravneniya vtorogo poryadka / G.E. Abduragimov // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Fizika. Matematika. – 2012. – №1. – C. 77-80.

12. **Polyakov, D.M.** Spektralnyie svoystva differentsialnogo operatora chetvertogo poryadka / D.M. Polyakov // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Fizika. Matematika. – 2012. – №1. – C. 179-181.

13. **Saakyan, G.G.** Ob otsillyatsionnykh svoystvakh resheniy nekotorykh sistem odnorodnykh differentsialnykh uravneniy / G.G. Saakyan // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Fizika. Matematika. – 2010. – № 2. – C. 139-141.

14. **Gritsenko, A.V.** Ob issledovanii kvazistaticheskogo izgiba konsolnogo stержnya pri kombinirovannom vneshnem vozdeystvii / A.V. Gritsenko // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Fizika. Matematika. – 2010. – № 1. – C. 94-96.

15. **Israilov, S.V.** Kraevaya zadacha obschey struktury dlya sistemy ODU / S.V. Israilov, A.A. Sagitov // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Fizika. Matematika. – 2010. – № 1. – C. 107-111.

THE FUNCTION OF THE DIFFERENTIAL IMPACT MODEL FOURTH ORDER

Baev A.D., Doctor of physico-mathematical sciences, professor;

Voronezh State University;

Shabrov S.A., Candidate of physico-mathematical sciences, Associate Professor;

Voronezh State University;

Golovaneva F.V., Candidate of physico-mathematical sciences, Voronezh State University;

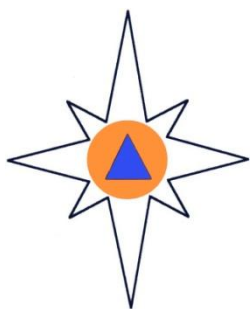
Meach Mon, graduate student,

Voronezh State University;

e-mail: meach_mon@yahoo.com

We prove the existence and uniqueness of the impact a boundary value problem that arises in the modeling of small deformations of the rod system with a feature that leads to the loss of smoothness of the solution, and the analysis of the mathematical model of a rod. In studying the possibility of applying the problem we use the pointwise approach proposed Yu.V. Pokorniy in 1999 and has shown its effectiveness in analyzing not only the linear boundary value problems of second order (able to create an exact parallel to the classical theory of ordinary differential equations, up to oscillation theorems), but also non-linear problems.

Keywords: mathematical model, rod system, as derivative, boundary value problem.



ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 93

ИЗ ИСТОРИИ ПРОТИВОПОЖАРНОГО СТРАХОВАНИЯ В РОССИЙСКОЙ ИМПЕРИИ 1867-1915 ГГ.: НА МАТЕРИАЛАХ ВОРОНЕЖСКОЙ ГУБЕРНИИ

Е.В. Калач

В статье рассматриваются основные цели и задачи деятельности российских страховых обществ в конце XIX – начале XX вв., чья работа была связана со страхованием от огня движимого и недвижимого имущества. Особый акцент делается на страховании в сельской местности Воронежской губернии, т.к. именно страхование на местах имело большое значение для развития пожарного дела в Российской империи в целом. На примере Воронежской губернии дается анализ изменений страховых норм и сумм в период с 1867 по 1915 гг., причин пожаров, описываются мероприятия, предпринимавшиеся земским собранием для борьбы с пожарами.

Ключевые слова: *противопожарное страхование, страховое общество, страховщик, страховая сумма, земства, Воронежская губерния.*

В России страхование стало развиваться намного позже, чем за рубежом, но, несмотря на это, история российского противопожарного страхования насчитывает уже не одно столетие. Первые попытки создать страховые учреждения относятся к 1786 г., когда при Государственном заемном банке была учреждена так называемая Страховая экспедиция. Однако ее деятельность в качестве государственного страховщика не имела значительных успехов: за годы ее работы (1787-1822 гг.) было собрано всего около 1,2 млн руб. премии и выплачено за сгоревшие строения чуть более 170 тыс. руб. В связи с этим на российском рынке активно развивались иностранные страховые компании. Присутствие иностранных страховщиков и, как следствие этого, массовый уход денег за границу побудили российское правительство начать разрабатывать проекты создания отечественных страховых учреждений.

Калач Елена Васильевна, к.пед.н., доцент кафедры гуманитарных и социально-экономических дисциплин, Воронежский институт ГПС МЧС России, Россия, г. Воронеж, e-mail: akalach_222@mail.ru

Толчок, давший развитие огненному страхованию в России, связан с организацией 22 июня 1827 г. первой акционерной страховой компании «Российское страховое от огня общество».

Впоследствии по всей стране стали возникать другие акционерные страховые товарищества. В 1835 г. начало свою работу «Второе российское страховое от огня общество», получившее двенадцатилетнюю привилегию на страхование в 40 губерниях вне зоны действия «Российского страхового от огня общества». А в 1846 г. было учреждено страховое от огня товарищество «Саламандра». Коммерческий успех этих организаций объясняло отсутствие на российском рынке достаточной конкуренции страховых компаний и налоговые льготы со стороны правительства.

Чтобы более четко понять деятельность страховых обществ, необходимо перечислить задачи их работы:

1. Подробный анализ причин возникновения пожаров.
2. Анализ причиняемого ущерба.
3. Разработка эффективных мероприятий по предупреждению пожаров (данное направление их деятельности связано прежде всего с тем, чтобы не выплачивать страховую сумму).
4. Предоставление льгот крупным страховщикам. Эти льготы предоставляли за устройство

огнестойких перекрытий в зданиях и огнестойких крыш, за наличие огнегасительных средств, стационарных огнегасительных установок, пожарной команды.

Таким образом, страховые общества являлись как бы исследовательскими центрами, в которых сосредотачивались все данные по пожарам.

Для развития пожарного дела большое значение имело развитие страхования на местах, т.е. в губерниях Российской империи.

Впервые страхование в селах было введено в 1844 г. в Санкт-Петербургской губернии. Министерство государственных имуществ, считая необходимым приходиться на помощь своим крестьянам при пожарных бедствиях, решило ввести сплошное обложение крестьянских дворов, чтобы собранные деньги шли на помощь погорельцам. Это решение было вызвано ростом цен на лес – основной строительный материал в русской деревне.

По-видимому, опыт оказался удачным, и в 1852 г. правительство издало «Положение о взаимном страховании в казенных поселках». Управлять страхованием было поручено Министерству государственных имуществ, а обязанность вести страховое дело была возложена на местные Палаты государственных имуществ. Чуть позже, 9 декабря 1958 г., в свет вышло Положение, по которому страхование было распространено на удельных и на государственных крестьян всей империи. По данному положению были установлены следующие размеры страхования:

– для «нормального» страхования: двор деревянный – 15 рублей и двор с каменной избой – 24 рубля. [1] Ниже этой суммы постройки не могли страховаться.

– по дополнительному страхованию дворы оценивались не выше, чем в 250 и 400 рублей.

Страховые платежи составляли 1 рубль за 100 рублей страховой суммы для строений деревянных и 50 копеек – за ту же сумму страхования – для строений каменных.

Что касается помещичьих крестьян, то забота о восстановлении всех их построек лежала на по-

мещиках, которые, к сожалению, не всегда в полной мере выполняли эту свою обязанность. Только после отмены крепостного права помещичьи крестьяне стали получать пособия из суммы так называемого продовольственного капитала (запас денежных средств в основном на случай голода и других стихийных бедствий).

После проведения в стране земской реформы в 1864 г. забота об обеспечении противопожарного состояния на местах была возложена на земства (Высочайшее утверждение от 7 апреля 1864 г.). Однако они не получили в свое распоряжение никаких денежных средств, т.к. все страховые капиталы поступили в имперский продовольственный капитал.

Воронежская губернская земская управа приняла страховое дело от Палаты государственных имуществ 1866 г. Надо отметить, что страхование по Положению 1858 г. в Воронежской губернии было убыточным (Таблица 1).

В связи с этим в Губернское земское собрание были внесены предложения по повышению страховых размеров:

– по нормальной оценке: с 15 рублей до 30 рублей для деревянных дворов и с 30 до 45 рублей – для каменных;

– по дополнительному страхованию с 250 и 400 до 1000 рублей на двор;

– для деревянных строений, крытых соломой – 1 рубль 33 копейки;

– для деревянных строений, крытых железом – 1 рубль;

– для каменных строений, крытых соломой – 66 копеек;

– для каменных строений, крытых железом – 50 копеек.

Но уже в следующем 1867 г. размеры были увеличены в 3 раза. Необходимо отметить, что увеличение страховых норм значительно повысило общую сумму страхового обеспечения. Уже в первый год земского страхования (1867 г.) страховая сумма увеличилась с 9 до 12 млн. рублей; в 1868 – до 15 млн. рублей; в 1869 – до 20 млн. рублей.

Таблица 1

Страхование в Воронежской губернии до передачи дел земству

Годы	Страховая сумма (рублей)	Оклад страховых платежей (рублей)	Сумма вознаграждения погорельцам (рублей)	Результаты операций: прибыль (+) / убыток (-) (рублей)
1859	5 533 353	45 205	26 731	+18 447
1860	5 637 763	55 917	75 096	-19 180
1861	5 865 960	58 114	21 711	+36 403
1862	5 775 960	57 395	88 252	-30 857
1863	6 919 912	69 047	136 593	-67 546
1864	8 140 879	72 151	64 830	+7 321
1865	7 334 812	72 721	100 999	-28 278

Однако таким благополучным можно назвать только первое пятилетие земского страхования в Воронежской губернии. Первые трудности начались в 1872 г., когда сумма возмещения убытков погорельцам составила 538 тыс. 138 рублей: расход превысил поступления на 1872 рублей. Таким образом, запасной страховой капитал был весь израсходован, и земское страховое управление оказалось в долгах. Убыточность 1872 г. была объяснена неправильной оценкой страхуемых строений, и поэтому были введены 12 должностей страховых агентов. Но увеличение штатов ситуацию не изменило – последующие годы также были весьма убыточными из-за высокой пожарной ситуации в губернии.

Такой результат побудил губернское земское собрание применить ряд мер, которые, по его мнению, могли сократить убыточность от пожаров в российских селах. Так, собрание постановило, чтобы «каждое отдельное строение в селениях принималось на страх земства в сумме 300 рублей и более в том случае, когда оно находится под огнеупорною крышей» [1]. Высшая норма выплат стала распространяться только на дворы, в которых все строения сделаны из огнеупорных материалов (кирпич, камень, глинобитный материал) и крыты железом. Однако и эти меры не дали ожидаемых результатов.

Ситуация изменяется только к концу XIX – началу XX вв. Во-первых, с 1899 г. вводится должность страхового инспектора, контролирующего волостные правления и страховых агентов. Во-вторых, 25 декабря 1901 г. было издано «Положение о взаимном земском страховании», исходя из которого изменился порядок дополнительного

страхования. Теперь имущество, застрахованное по нормальной оценке, могло быть достраховано сверх нормы. Также вводились личные счета страхователей. С одной стороны, данные мероприятия прибавили работы Воронежскому земству, а с другой – усилили его с материальной стороны.

В-третьих, в 1908-1909 гг. в Воронежском уезде и пяти волостях Коротоякского уезда была введена должность помощника страхового агента, которому передавалась от волостных правлений обязанность по страхованию движимого и недвижимого имущества. Позже помощники появляются и в других уездах Воронежской губернии.

В 1913 г. изменяется система страхования. Теперь признаком для определения размера страхования считали не вид и размер жилой постройки, а размер оценочной стоимости всего двора.

Наряду со страховой деятельностью земские собрания следили и за противопожарным состоянием в губерниях. В некоторых городах за счет средств страховых обществ улучшали дороги и водосточники, выдавали ссуды горожанам на приобретение огнестойких строительных материалов, содержали трубочистов и др. Земские страховые общества имели право, согласно закону, расходовать часть прибыли на противопожарные мероприятия в сельских населенных пунктах.

Тем не менее уровень пожаров был достаточно высок. По данным, содержащимся в отчетах о взаимном земском страховании Воронежской губернии за период с 1899 по 1913 гг., в застрахованных строениях произошло 34235 пожаров [3].

Основные причины пожаров изложены в Таблице 2.

Таблица 2.
Основные причины пожаров, произошедших в Воронежской губернии с 1899 по 1913 гг.

Причина	Неисправность дымоходных труб	Неосторожное обращение с огнем	Поджог	Детская шалость	Не установлено	Всего
Количество	415	1466	124	15	124	2144

Как показывают приведенные в таблице данные, основной причиной возникновения пожаров в конце XIX – начале XX вв., как и сегодня, являлось неосторожное обращение с огнем.

Документы показали еще один интересный факт: пожары в строениях, застрахованных по повышенным нормам, происходили в 2,5 раза чаще, чем в строениях, застрахованных в рамках нормального (окладного) страхования. Так, на 1000 дворов происходило следующее количество пожаров: в окладном страховании – 4,4; в дополнительном – 11,1 [3]. Такая ситуация объясняется

прежде всего боязнью поджога или возникновения пожара по другой любой причине из-за более высокого материального положения страхователей.

Какие же меры предпринимались земским собранием Воронежской губернии по борьбе с пожарами? Практически с момента его возникновения сельским обществам был открыт беспроцентный кредит на приобретение огнегасительных инструментов. Позже были утверждены нормы хранения пожарных инструментов, исходя из количества крестьянских дворов (Таблица 3) [2].

Таблица 3.

Нормы хранения пожарных инструментов на 1915 г.

Количество дворов	Ручные пожарные трубы	Конные пожарные трубы	Войлочные щиты	Бочки с водой	Ведро с веревками	Багры	Лопаты	Железные вилы	Топоры	Лестницы
30-60	-	-	1	1	2	2	-	-	-	1
60-100	1	-	1	2	2	4	-	-	-	1
100-200	-	1	1	2	2	4	2	3	3	1
200-300	-	1	2	3	3	4	2	3	3	1
300-500	-	1	2	4	4	5	2	4	4	1
500 и более	-	2	3	6	6	6	3	4	5	2

Для хранения пожарного инвентаря в населенных пунктах возводились специальные сараи. Также в разные годы издавались правила и инструкции, содержавшие руководство по строению улиц и домов с точки зрения противопожарной безопасности, правила содержания пожарного оборудования, обязанности сельских должностных лиц во время пожаров.

Подводя итог вышесказанному, можно сделать вывод, что деятельность страховых обществ способствовала развитию пожарного дела и улучшению пожарной безопасности страны. Также, несмотря на все трудности, страховые общества, в том числе и Воронежское губернское земское собрание, способствовали росту экономических показателей Российской империи.

Библиографический список

1. Гребенник, И.Е. О деятельности Воронежского губернского земства по взаимному земскому страхованию и по борьбе с пожарами в селениях / И.Е. Гребенник // Труды съезда председателей сельских вольных пожарных дружин Воронежской губернии. – Воронеж: Типо-Литография Т-на «Н. Кравцов и К», 1914. – С. 1–31.
2. Сборник правил и инструкций, действующих в Воронежском Губернском Земстве по страхованию от огня и противопожарной части. – Воронеж: Типо-Литография Т-на «Н. Кравцов и К», 1915. – 355 с.
3. Страховые и пожарные условия в селениях Воронежской губернии. – Воронеж: Типография Трезубов и Тарутин, 1915. – 740 с.

References

1. Grebennik, I.E. O deyatelnosti Voronezhskogo gubernskogo zemstva po vzaimnomu zemskomu strahovaniyu i po borbe s pozharemi v seleniyah / I.E. Grebennik // Trudy s'ezda predsedateley selskih volnyih pozhamyih druzhin Voronezhskoy gubernii. - Voronezh: Tipo-Litografiya T-na «N. Kravtsov i K», 1914. – S. 1–31.
2. Sbornik pravil i instruktsiy, deystvuyuschih v Voronezhskom Gubernskom Zemstve po strahovaniyu ot ognya i protivopozharnoy chasti. – Voronezh: Tipo-Litografiya T-na «N. Kravtsov i K», 1915. – 355 s.
3. Strahovyye i pozhamnyye usloviya v seleniyah Voronezhskoy gubernii. – Voronezh: Tipografiya Trezubov i Tarutin, 1915. – 740 s.

FROM THE HISTORY OF FIRE INSURANCE IN RUSSIA IN 1967-1915: ON MATERIALS OF VORONEZH PROVINCE

Kalach Elena Vasilievna, Assistant Professor,
Candidate of Pedagogic Sciences,
Voronezh Institute of the State Fire Service EMERCOM of Russia.

Annotation: the article deals with the main purposes and tasks of Russian insurance companies whose work is connected with insurance of movable and immovable property in XIX-XX centuries. Particular emphasis is placed on insurance in rural areas, which had the great importance for developing of firefighting in Russia. On the example of the Voronezh province the analysis of changes of the insurance rules and amounts is made for a period of 1867- 1915. The text contains the examples of fires causes and measures to combat fires.

Key words: fire insurance, insurance company, insurer, insured amount, Voronezh province.

АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ УРОВНЯ САМОЭФФЕКТИВНОСТИ И УРОВНЯ ПОСТТРАВМАТИЧЕСКОГО РОСТА РАБОТНИКОВ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СЛУЖБ

А.Н. Крутолевич

Феномен «посттравматический рост» был вновь сформулирован и представлен широкой научной общественности Тедешчи (Tedeschi) и Калхоун (Calhoun) в 2004 году. Посттравматический рост включает в себя положительные изменения в личных отношениях, в восприятии жизни и осознании собственной силы. Известно, что самоэффективная личность обладает умением взглянуть по-новому на себя и окружающий мир, провести переоценку жизненных ценностей. В статье рассматривается вопрос взаимосвязи посттравматического роста и уровня самоэффективности работников экстремальных служб. Проведенный корреляционный анализ показал прямую, статистически достоверную взаимосвязь двух параметров.

Ключевые слова: *работники экстремальных служб, вторичная травматизация, посттравматический рост, самоэффективность.*

Введение. Постоянная конфронтация работников экстремальных служб со стрессовыми ситуациями обуславливает риск развития посттравматических стрессовых расстройств. Однако у многих работников экстремальных служб наблюдаются позитивные изменения и повышение уровня функционирования личности. Причина тому – нарушение внутреннего равновесия вследствие травматического события, что влечет за собой необходимость взглянуть по-новому на себя и окружающий мир. О положительных изменениях, наблюдавшихся у работников экстремальных служб, сообщается в исследовании Ортлепп (Ortlepp) и Фридман (Fredman) [1]. Так, пожарные-спасатели после конфронтации с травматическими событиями могли наблюдать за собой наряду с чувством потери внутреннего равновесия и душевной болью и положительные изменения: необходимость по-новому взглянуть на себя и окружающий мир, переоценку жизненных ценностей, что позволяло ввести новые элементы в свой поведенческий репертуар.

Положительные изменения вследствие травматических событий составляют основу концепта посттравматического роста («posttraumatic growth»). Феномен «посттравматический рост» с вновь сформулированным концептуальным видением был сформулирован и представлен широкой научной общественности Тедешчи (Tedeschi) и Калхоун (Calhoun) в журнале *Psychology Inquiry* в 2004

году, что вызвало широкий научный резонанс среди клинических психологов [2]. Посттравматический рост включает в себя изменения в следующих сферах:

- повышение ценности жизни;
- увеличение значимости личных отношений, открытие новых возможностей, осознание собственной силы;
- интенсификация духовного сознания.

Теоретическое обоснование проведенного исследования. Результаты исследований, проведенных по изучению взаимосвязи посттравматического стрессового расстройства (далее – ПТСР) и посттравматического роста, не так однородны, как хотелось бы. Так, результаты исследования Танга (Tang) [3] указывают на прямую взаимосвязь, а результаты исследований Батлера (Butler) [4]; Соломона (Solomon) и Декеля (Dekel) [5]; Кляйма (Kleim) и Элерса (Ehlers) [6] выявили зависимость, выраженную параболой, которая указывает на то, что низкий уровень симптоматики ПТСР и высокий уровень симптоматики коррелирует с низким уровнем посттравматического роста. Данные этих исследований позволяют сделать вывод о том, что наиболее выраженный посттравматический рост вызывают посттравматические состояния среднего уровня.

Исследования, направленные на выявление взаимосвязи между личностными характеристиками и уровнем посттравматического роста, не выявили зависимости между оптимизмом [7] и открытостью [8] личности, но установили зависимость между экстраверсией [9] и уровнем эмоциональности личности [10].

В представленном исследовании рассматривается вопрос о взаимосвязи самоэффективности личности (как убеждения человека в своей способности эффективно (успешно) действовать в той или иной ситуации [11] в определенных условиях) и

Крутолевич Анна Николаевна,
ГУО «Гомельский инженерный институт»
МЧС Республики Беларусь,
соискатель степени PhD Вестфальского университета имени Вильгельма II (Германия);
Республика Беларусь, г. Гомель
e-mail: niogii@gmail.com

умением взглянуть по-новому на себя и окружающий мир, провести переоценку жизненных ценностей, ввести новые элементы в свой поведенческий репертуар, проявить упорство и настойчивость при достижении целей.

Цели и задачи исследования, постановка гипотез. Основной целью исследования являлось изучение взаимосвязи посттравматического роста с уровнем вторичной травматизации работников экстремальных служб, а именно, медицинских работников скорой медицинской помощи и работников органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям. Также целью работы являлось определение факторов, влияющих на проявление посттравматического роста.

Основной задачей исследования является анализ взаимосвязи вторичной травматизации и посттравматического роста. Дополнительной задачей исследования являлось выявление факторов, оказывающих влияние на проявление посттравматического роста, а именно: самоэффективность.

Исходными альтернативными гипотезами являлись следующие предположения:

– наличие посттравматического роста работников экстремальных служб приводит к снижению их уровня вторичного посттравматического стрессового расстройства;

– высокий уровень самоэффективности работников способствует проявлению посттравматического роста работников экстремальных служб.

Используемые методики. Обработка эмпирических данных, их систематизация, наглядное представление в форме графиков и таблиц, а также количественное описание посредством основных статистических показателей, анализ на определение статистической разницы между группами, корреляционный и регрессионный анализы данных были проведены с помощью программного обеспечения PASW/SPSS 18, предоставленного институтом психопатологии и клинической интервенции университета Цюриха (данное исследование являлось продолжением научно-исследовательского проекта (индивидуальный исследовательский грант ESKAS 2010-2011) с институтом психопатологии и клинической интервенции университета Цюриха).

Для порядковых и номинальных переменных (пол, семейное положение), а также для количественных признаков, не подчиняющихся нормальному распределению (возраст, стаж по профессии, уровень образования, самоэффективность), рассчитывался коэффициент ранговой корреляции Спирмена. Для количественных переменных с нормальным распределением рассчитывался коэффициент корреляции Бравэ-Пирсона.

Нормальному распределению, согласно результатам теста Колмогорова-Смирнова, соответствовали полученные данные по шкале «посттравматический рост» и шкале «вторичная травматизация».

Проведенное исследование являлось первым комплексным репрезентативным исследованием в области вторичной травматизации работников экстремальных служб Республики Беларусь. В комплексную анкету-опросник вошли вопросы на определение социодемографических параметров (возраст, семейное положение, стаж работы, уровень образования), клинические шкалы и психодиагностические тесты на определение: уровня вторичной травматизации, Secondary Trauma Questionnaire (STQ, Motta & Joseph, 1998; dt. Maercker, 2000), уровня посттравматического роста работников экстремальных служб – Posttraumatic Growth Scale (Tedeschi&Calhoun, 1996), уровня самоэффективности – General Self-Efficacy Scale (GSE, Schwarzer & Jerusalem, 1999).

Опросник по определению уровня вторичной травматизации (Secondary Trauma Questionnaire) включал в себя 20 утверждений, каждое из которых оценивалось по пятибалльной шкале Ликерта. Шкала была разработана для оценки степени выраженности посттравматических стрессовых реакций у лиц, оказавшихся вовлеченными в травматическое событие другого человека. Оценка результатов производилась суммированием баллов, а итоговый показатель позволял выявить степень воздействия на индивида травматического события, связанного с другим человеком [12].

Опросник по оценке уровня самоэффективности General Self-Efficacy Scale состоит из десяти утверждений. Оценка утверждений дается по четырехбалльной шкале Ликерта [13].

Опросник по оценке посттравматического роста (Posttraumatic Growth Scale) состоит из двадцати одного высказывания. Оценка утверждений дается по пятибалльной шкале Ликерта [14].

Вышеуказанные опросники являются валидированными психодиагностическими методиками и находят широкое применение в области клинической психологии. С основными психометрическими характеристиками данных методик можно ознакомиться в оригинальных статьях, указанных в списке литературы.

В исследовании добровольно приняли участие 113 пожарных-спасателей пожарных аварийно-спасательных частей Республики Беларусь и города Гомель, а также 53 медицинских работника бригад Гомельской городской станции скорой медицинской помощи.

В рамках своей профессиональной деятельности пожарные-спасатели ликвидируют чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера, участвуют в ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий и в оказании первой доврачебной помощи пострадавшим. Профессиональная деятельность медицинских работников бригад скорой медицинской помощи связана с оказанием экстренной медицинской помощи.

Результаты исследования. В исследовании участвовало 168 человек, из них 77% (129 человек) мужчины и 23% (39 человек) – женщины. Среди работников органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям основную часть опрошенных составили мужчины (96,5%), а среди работников скорой медицинской помощи большую часть опрошенных составляли, наоборот, женщины (66%). Средний возраст опрошенных – 31 год, средний стаж работы в экстремальных службах на момент исследования – 113 месяцев (9,4 года).

Анализ полученных данных показал, что на момент проведения исследования 13,1% работников экстремальных служб соответствовало критериям вторичной травматизации, из них 7,7% соответствовало легкой и средней форме данного расстройства, 5,4% – тяжелой форме.

Гипотетически рассматривался вопрос об обратной взаимосвязи между уровнем посттравматического роста работников и уровнем вторичной травматизации.

Исследование, проведенное с целью изучения проявления посттравматического роста среди работников экстремальных служб, позволило сделать вывод о том, что для 50% опрошенных был характерен посттравматический рост вследствие их конфронтации с травматическими событиями. В данном исследовании была выявлена статистически значимая выраженная прямая взаимосвязь между посттравматическим ростом и вторичной психической травматизацией работников экстремальных служб ($r=.42$, $p=0.007$), что говорит о прямой взаимосвязи между параметрами.

Похожие результаты можно найти в исследовании Соломон (Solomon) и Декель (Dekel), которое на примере солдат израильской армии, побывавших в плену, показало, что более высокий уровень психической травматизации ведет к более высокому уровню посттравматического роста [5].

На основании полученных данных была опровергнута альтернативная гипотеза.

Далее рассматривался вопрос о прямой взаимосвязи между самооффективностью работников и уровнем посттравматического роста.

Корреляционный анализ посттравматического роста и уровня самооффективности выявил статистически значимую прямую взаимосвязь между

двумя параметрами ($r=.25$, $p=0.002$). На основании полученных данных была принята альтернативная гипотеза.

Выводы. Несмотря на логичность умозаключения о протективной функции посттравматического роста в отношении психического здоровья человека, исследование показало наличие прямой взаимосвязи уровня травматизации и посттравматического роста. При интерпретации уровня взаимосвязи между этими параметрами следует учитывать тот факт, что посттравматический рост не снижает уровень страданий, а позволяет перейти на новый уровень внутреннего развития и преодоления кризисных ситуаций.

Посттравматический рост и посттравматическое стрессовое расстройство представляют собой два разных конструкта [15].

Как показало данное исследование, самооффективность является фактором, который напрямую связан с посттравматическим ростом работников экстремальных служб. Возможным объяснением данной взаимосвязи является то, что высокий уровень самооффективности индивида может изменить его мышление и способствует увеличению суждений самоободряющего характера. Из психологии личности известно, что именно убеждение в собственной самооффективности оказывает многостороннее воздействие на процессы мотивации. Так, индивиды, убежденные в своей высокой самооффективности, способны лучше справляться со стрессом и разочарованием, демонстрируют больше старания и настойчивости в выполнении заданий, ставят перед собой более трудные и рискованные цели, способны лучше и быстрее справляться со сложными и неординарными ситуациями, воздействуют на успешность деятельности и жизнедеятельности [16].

Высокая самооффективность способствует появлению и сохранению мотивации, снижению уровня тревожности, проявлению отрицательных эмоций, которые возникают при неудачах. Работники экстремальных служб с высоким уровнем самооффективности рассматривают травматическое событие как возможность личностного роста и духовного развития.

Библиографический список

1. **Ortlepp, K. & Friedman, M.** Prevalence and correlates of secondary traumatic stress in Workplace Lay Counselors. *Journal of Traumatic Stress*, 2002, 15 (3), 213-222.
2. **Tedeschi, R.G. & Calhoun, L.G.** (2004a). Posttraumatic growth: conceptual foundations and empirical evidence. *Psychological Inquiry*, 15 (1), 1-18.
3. **Tang, C.** Posttraumatic growth of Southeast Asian survivors with physical injuries: six months after the 2004 Southeast Asian earthquake - Tsunami. *The Australian Journal of Disaster and Trauma Studies*. 2007

4. **Butler, L., Blasey, Ch., Garlan, R., McCaslin, S., Azarow, J., Chen, X., ... Spiegel, D.** Posttraumatic growth following the terrorists attacks of September 11, 2001: cognitive, coping and trauma symptom predictors in an internet convenience sample. *Traumatology*, 2005, 11, 247-267.
5. **Solomon, Z. & Dekel, R.** Posttraumatic Stress Disorder and Posttraumatic Growth Among Israeli Ex-POWs. *Journal of Traumatic Stress*, 2007, Vol. 20, No. 3, S. 303-312.
6. **Kleim, B., & Ehlers, A.** Evidence for a curvilinear relationship between posttraumatic growth and posttrauma psychopathology. *Journal of Traumatic Stress*, 2009, 22, 1, 45-52.

7. **Bellizzi, K., & Blank, T.** Predicting posttraumatic growth in breast cancer survivors. *Health Psychology*, 2006, 25, 47-56.

8. **Zoellner, T., Rabe, S., Karl, A., & Maercker, A.** Post-traumatic growth in accident survivors: openness and optimism as predictors of its constructive and illusory sides. *Journal of Clinical Psychology*, 2008, 64, 245-63.

9. **Sheikh, A.I.** Posttraumatic growth in the context of heart disease. *Journal of Clinical Psychology in Medical Settings*, 2004, 11, 265-273.

10. **Norlander, T., Von Schedvin, H., & Archer, T.** Thriving as a function of affective personality: relation to personality factors, coping strategies and stress. *Anxiety, Stress and Coping*, 2005, 18, 105-116.

11. **Bandura A.** Self - efficacy mechanism in human agency/A. Bandura//American Psychologist. - 1982. - Vol. 37. - P. 122-147.

12. **Motta, R. W., Kefer, J. M., Hertz, M. D., & Hafeez, S.** Initial evaluation of the Secondary Trauma Questionnaire. *Psychological Reports*, 1999, 85, 997-1002.

13. **Schwarzer R.** Optimistische Kompetenzerwartung: Zur Erfassung einer personellen Bewaeltigungsresource, *Diagnostica*, 1994, 40 (2), S.105-123

14. **Tedeschi, R.G. & Calhoun, L.G.** The Posttraumatic Growth Inventory: Measuring the legacy of trauma. *Journal of Traumatic Stress*, 1996, 9, 455-472.

15. **Zoellner T., & Maercker A.** Posttraumatic growth in clinical psychology: A critical review and introduction of a two component model. *Clinical Psychology Review*, 2006, 26, 626-653.

16. **Bandura A.** Regulation of cognitive processes through perceived self-efficacy. *Developmental Psychology*, 1989, Vol 25(5), 729-735.

THE ANALYSIS OF INTERRELATIONSHIP BETWEEN THE LEVEL OF SELF-EFFICACY AND THE LEVEL OF POSTTRAUMATIC GROWTH OF RESCUE WORKERS

Krutolevich, A.N.,

Gomel Engineering Institute of the Ministry

for Emergency Situations

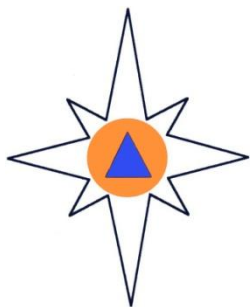
of the Republic of Belarus,

PhD-student of University of Muenster (Germany);

e-mail: niogii@gmail.com

The phenomenon "the post-traumatic growth" was again formulated and provided from Tedeschi, Calhoun in 2004. Post-traumatic growth includes improved interpersonal relationships, changes in self-perception and changes in one's philosophy of life. It is known that the self-efficacy personality possesses ability to look in a new way at her and world, to carry out overestimation of vital values. In the article is considered the question of interrelationship of post-traumatic growth and level of self-efficacy of rescue workers. The correlation analysis showed the positive statistically significantly relationship of two parameters.

Keywords: rescue workers, secondary traumatisation, posttraumatic growth, self-efficacy.



КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 331.08

КОНЦЕПЦИЯ КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ МЧС РОССИИ, ВОСПИТАТЕЛЬНАЯ РАБОТА И СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ

В.В. Гапченко

В статье анализируются современные направления развития воспитательной работы с личным составом МЧС России.

Ключевые слова: *Концепция кадровой политики МЧС России, воспитательная работа.*

Разработанная в 2004 году Концепция кадровой политики МЧС России, утвержденная приказом МЧС России от 01.07.2010 № 306 (далее – Концепция) показала правильность долгосрочного планирования деятельности по этому направлению.

Вместе с тем указанная Концепция была основана на действующем на момент её разработки законодательстве, ориентирована на меньшее количество личного состава системы МЧС России, не предусматривала реформирование войск гражданской обороны в воинские формирования постоянной готовности и перевод военнослужащих на иные виды государственной службы, а также включение в состав МЧС России Государственной инспекции по маломерным судам и формирование договорных подразделений ФПС.

Выработка Концепции кадровой политики МЧС России на период до 2020 года и совершенствование на её основе всех направлений работы с кадрами – объективная потребность развития системы Министерства. Одним из основных направлений развития кадровой политики МЧС России до 2020 года является совершенствование организации воспитательной работы с личным составом. В современных условиях решение этой задачи предполагает разработку и внедрение в воспитательную практику подразделений МЧС России идей, методик и технологий воспитания личного состава,

отвечающих свершившимся переменам с учетом выявленных тенденций и перспектив развития МЧС России.

При решении этой непростой задачи требуется выявить сущность и специфику воспитательной работы с различными категориями личного состава.

Эта работа потребует:

– определение состава, структуры и связей воспитательного аппарата и используемых методик МЧС России и общества;

– пути и условия модернизации процесса воспитания личного состава и совершенствование механизма формирования и развития у сотрудников социально-значимых знаний, умений, навыков, качеств и свойств личности для успешного выполнения задач службы;

– разработки критерия оценки эффективности процесса воспитания для условий МЧС России.

Методологическая основа воспитательной работы Концепции включает в себя такие направления как:

– разработка новых форм развития у личного состава мотивации к службе (работе) в МЧС России, личной ответственности за повышение профессионального мастерства, высокой дисциплинированности и ответственности за конечный результат;

– организация реализации в системе МЧС России Государственной программы «Патриотическое воспитание граждан Российской Федерации на 2011–2015 годы»;

Гапченко Владимир Васильевич,
ЦОД ФПС ГПС МЧС России,
Россия, г. Москва; e-mail: v.g@bk.ru

© Гапченко В.В., 2014

– проведение ежегодного мониторинга социально-экономического положения личного состава МЧС России;

– совершенствование порядка, форм и методов психологического сопровождения прохождения службы (работы) личным составом МЧС России.

На последующем этапе выполнения Концепции кадровой политики должна формироваться обновленная эффективная модель воспитательной работы, основанная на психолого-педагогических и социологических подходах, учитывающая позитивный отечественный и зарубежный опыт, имеющая профессиональную направленность и методологический механизм ориентирования личного состава на результаты профессиональной служебной деятельности, поддержания у личного состава высокого уровня мотивации к службе (работе) в МЧС России, личной ответственности за повышение профессионального мастерства, высокой дисциплинированности и ответственности за конечный результат; совершенствования механизма формирования у личного состава коммуникативной компетентности, правовой культуры и готовности к исполнению профессионального долга и вне службы (работы).

Таким образом, в Министерстве будет организована система воспитательной работы и морально-психологического обеспечения, способная

сформировать и поддерживать у личного состава комплекс гражданских, духовных и иных профессионально значимых качеств личности, обусловленных потребностями и особенностями профессиональной деятельности.

Сегодня модернизация структуры МЧС России – это целый комплекс сложных мероприятий, затрагивающий все стороны жизнедеятельности Министерства.

Его реализация предполагает последовательное решение организационных, специальных, социальных и воспитательных задач, направленных на качественное изменение структуры МЧС России.

В период всесторонней модернизации и изменения управленческих структур очень важно определить адекватного современным реалиям содержания воспитательной работы среди личного состава МЧС России и членов их семей. Все это представляет собой сложную и многоплановую практическую задачу обновления идеологии воспитания, его направленности, форм, методов и технологического обеспечения в целях формирования личности гражданина, готового и способного быть полноправным членом общества, выполнять конкретную социальную роль, проявлять свои социально значимые качества и свойства гражданина России.

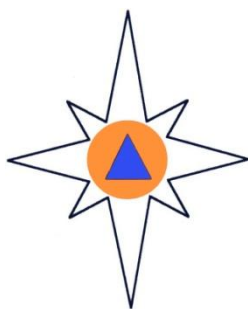
THE PERSONNEL POLICY CONCEPT OF THE EMERCOM OF RUSSIA, EDUCATIONAL WORK AND MODERN TRENDS

Gapchenko Vladimir Vasilyevich,

Center for security activities of the Federal fire service
of the State fire service of the EMERCOM of Russia;
Russia, Moscow;
e-mail: v.g@bk.ru

The article analyzes modern directions of development of the educational work you with the personal composition of the EMERCOM of Russia.

Keywords: *personnel policy Concept of the Russian EMERCOM, educational work.*



ИНФОРМАЦИОННЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 614.841:311.313

ИТОГИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МЧС РОССИИ В I ПОЛУГОДИИ 2014 ГОДА

В аналитическом отчете МЧС России представлены данные об итогах деятельности Министерства в I полугодии 2014 года.

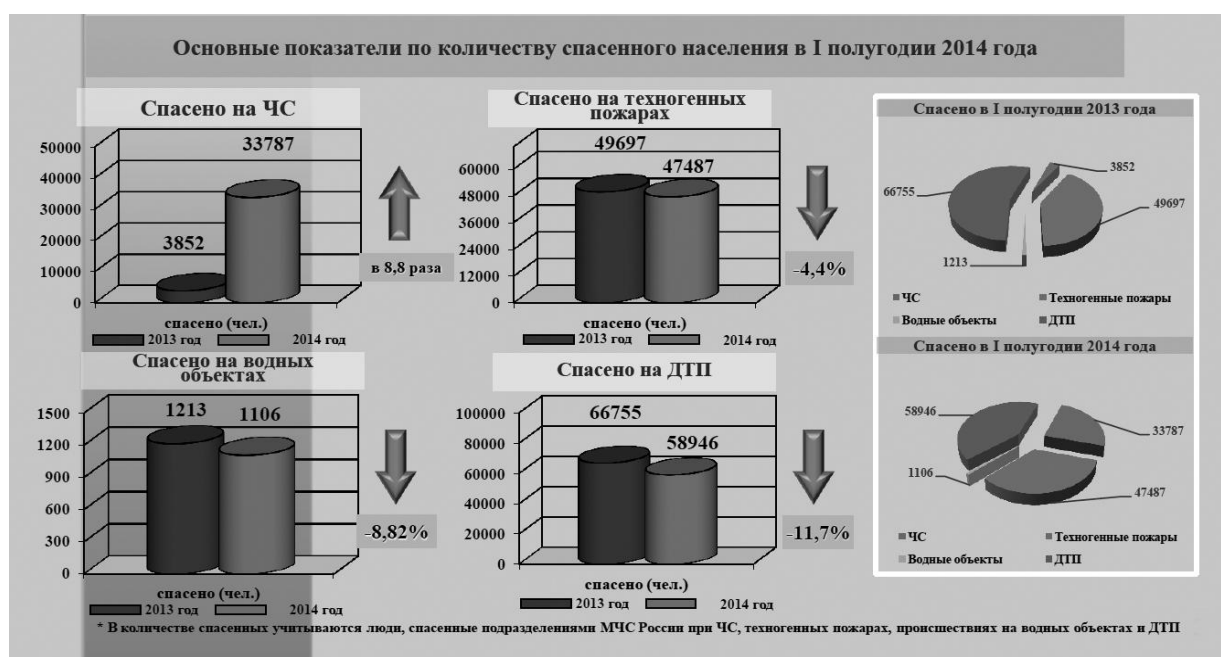
Ключевые слова: МЧС России, безопасность, чрезвычайные ситуации, пожарная безопасность.

1. В I полугодии 2014 года МЧС России обеспечивало:

- реализацию «майских» указов Президента РФ;
- реализацию Плана строительства и развития сил и средств МЧС России на 2011-2015 годы
- совершенствование нормативно-правовой базы в области гражданской обороны и защиты населения и территорий;
- безопасность при проведении крупных международных соревнований;
- ликвидацию крупномасштабных чрезвычайных ситуаций;

2. Главные показатели деятельности.

- выполнение в полном объеме мероприятий по созданию системы защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах в Республике Крым и в городе Севастополе;
- оказание помощи лицам, вынужденно покинувшим территорию Украины;
- патриотическое воспитание и подготовку кадров в системе МЧС России;
- доведение до населения информации о деятельности МЧС России.

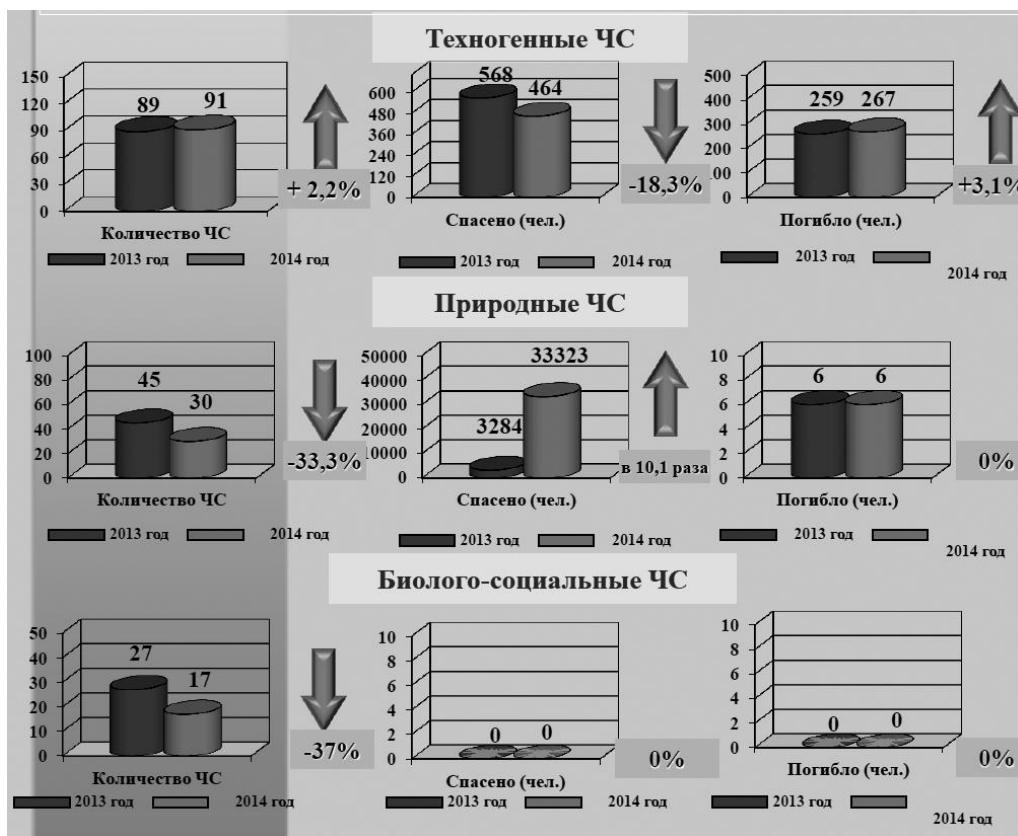


В I полугодии 2014 года при чрезвычайных ситуациях, пожарах, авариях и катастрофах спасено

более 141 тыс. человек (для сравнения: в I полугодии 2013 г. - более 121 тыс.).

3. Сведения по чрезвычайным ситуациям.
В I полугодии 2014 года зарегистрировано 138

чрезвычайных ситуаций, в которых спасено 33787 человек, погибло 273 человека.



4. Сведения по техногенным пожарам. В I полугодии 2014 года зарегистрировано 75404 тех-

ногенных пожара, в которых спасено 47487 человек, погибло 5327 человек.



5. Выполнение задач в области обеспечения безопасности людей на воде. В I полугодии 2014 года зарегистрировано 1315 происшествий на

водных объектах, что на 22,9 % меньше, чем в I полугодии 2013 года (1706).



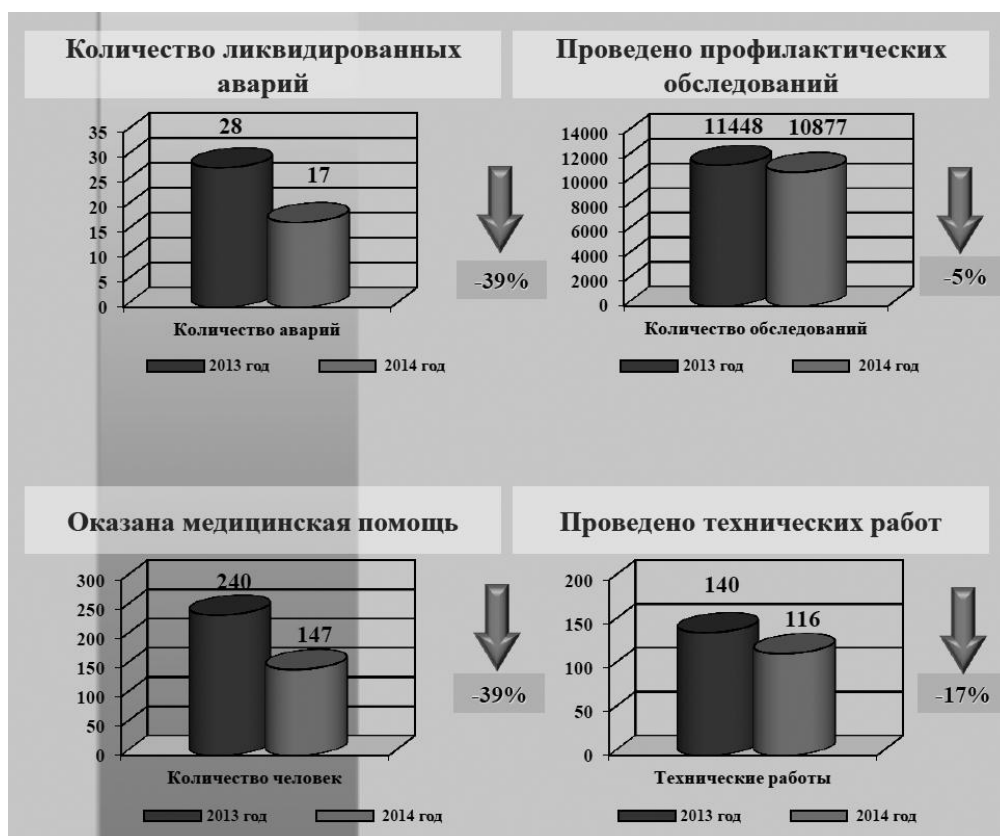
6. Обеспечение безопасности на водных объектах в зимний период.

В целях оперативного реагирования при возникновении чрезвычайных ситуаций на водных объектах в зимний период была сформирована

группировка сил и средств в составе: 317012 человек, 69299 ед. техники, 218 ед. авиатехники, 4798 ед. плавсредств, в том числе от МЧС России: 72985 человек, 13007 ед. техники, 41 ед. авиатехники. 1563 ед. плавсредств.

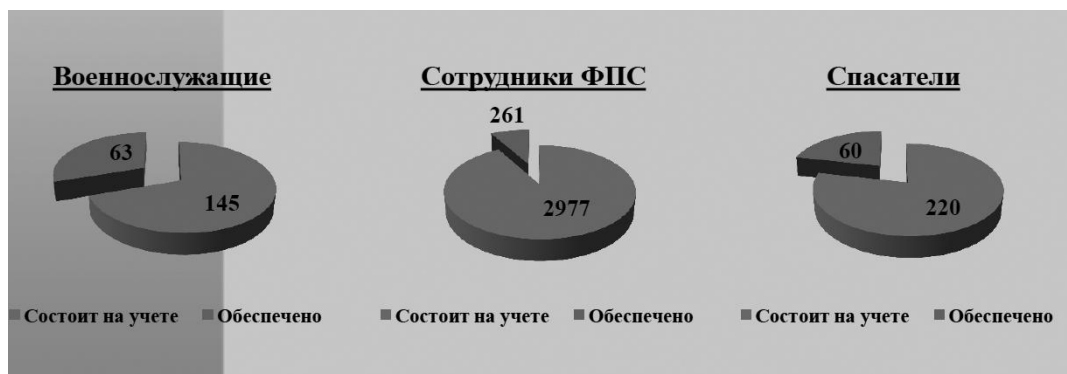


7. Сведения о работе подразделений военизированных горноспасательных частей МЧС России



8. Выполнение Указов Президента Российской Федерации. Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2012 г. № 600 «О мерах по обеспечению граждан Российской Федерации доступным и комфортным жильем и повышению качества жилищно-коммунальных услуг». В

МЧС России из 208 военнослужащих, состоящих на учете нуждающихся в постоянном жилье, на 01.01.2014 было обеспечено жильем 63 человека, что составляет – 30,3%, из 3238 сотрудников ФПС обеспечено 261 человек (8,1%), из 280 спасателей обеспечено 60 человек (31,1%).



Указы Президента Российской Федерации от 7 мая 2012 г. № 596 «О долгосрочной государственной экономической политике» и № 597 «О мероприятиях по реализации государственной социальной политики». Средняя заработная плата профессорско-преподавательского состава высших профессиональных образовательных учреждений повышена и составляет более 130 тыс. рублей.

Средняя заработная плата врачей в медицинских учреждениях МЧС России по состоянию на 1 июля 2014 г. составляет 91,3% от средней заработной платы в соответствующем регионе при плановом показателе по итогам 2014 года 130,7%, заработная плата среднего медицинского персонала 81,5% при плановом показателе 76,2%, а младшего медицинского персонала 63,4% при плановом показателе 51%.

Несмотря на дефицитность бюджета 2014 года, основной объем средств (более 2/3 от 195,3 млрд. руб.), предусмотренных федеральным бюджетом на 2014 год, направлен на обеспечение личного состава денежным довольствием, заработной платой, социальными выплатами.

Произведены дополнительные выплаты в объеме более 580,0 млн. руб.

9. Реализация Плана строительства и развития сил и средств МЧС России на 2011-2015 годы. Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2012 г. № 603 «О реализации планов (программ) строительства и развития Вооруженных сил Российской Федерации, других войск, воинских формирований и органов и модернизации оборонно-промышленного комплекса».

В I полугодии 2014 года поставлено в подразделения МЧС России 20 комплексов гидравлического аварийно-спасательного инструмента, 2 медицинских эвакуационных модуля вертолетного типа, 1 станция комплексной очистки воды СКО-1С, 5 аварийно-спасательных машин тяжелого типа и другого оборудования в количестве более 20 единиц на общую сумму более 110 млн. рублей, кроме того перечислены авансовые платежи на сумму более 450 млн. рублей.

Организована работа по созданию 25 специализированных пожарно-спасательных частей

ФПС (приказ МЧС России от 20.12.2013 № 815) общей численностью 2569 штатных единиц.

В штаты спасательных воинских формирований МЧС России включены 268 единиц военной и специальной техники.

10. Обеспечение безопасности при проведении XXII Олимпийских зимних игр и XI Паралимпийских зимних игр 2014 года в г. Сочи. По итогам работы подразделений МЧС России по обеспечению безопасности проведения XXII зимних Олимпийских игр 2014 года можно отметить, что создание разновидовой группировки МЧС России с учетом рисков возможных ЧС, при оптимальной системе управления, позволило обеспечить прикрытие всех объектов Олимпиады, осуществлять постоянный контроль оперативной обстановки на объектах проведения спортивных мероприятий, транспортной инфраструктуры и объектах проживания.

Все мероприятия выполнены на высоком уровне и заслужили высокую оценку Международного Олимпийского Комитета.

Всего в обеспечении безопасности Олимпийских игр от МЧС России было задействовано более 12 тыс. человек и около 300 ед. техники

11. Ликвидация последствий дождевого наводка на территории Сибирского федерального округа. В результате ливневых дождей одновременно произошло наводнение на территории 4-х субъектов Российской Федерации. Уровень воды в верхнем течении реки Обь и ее притоках - реках Катунь, Чарыш, Бия на 1,5-2 метра превысил критические отметки и достиг своих исторических значений, в результате чего возникла крупномасштабная чрезвычайная ситуация.

Пострадала социальная инфраструктура: дороги, объекты энергетики, связи, жилищно-коммунальное хозяйство, земли сельскохозяйственных угодий. В зоне чрезвычайной ситуации оказалось свыше 70 тыс. человек.

К работам по ликвидации чрезвычайной ситуации были привлечены органы управления и силы МЧС России, МВД, Минобороны, Минздрава, а также субъектов Российской Федерации общей численностью свыше 17 тыс. человек и более 5 тыс. единиц техники.

12. Формирование территориальных органов МЧС России и подведомственных им подразделений в Республике Крым и в городе Севастополь. Созданы Главные управления МЧС России по Республике Крым и городу Севастополю, два Центра управления силами, два Специализированных отряда, один Специальный морской отряд и Учебный центр ГУ МЧС России по Республике Крым. Разработаны нормативные правовые акты в области гражданской обороны, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах.

Передано для доукомплектования подразделений Главных управлений МЧС России по Республике Крым и г. Севастополю 16 единиц пожарной и специальной техники, а также один многофункциональный поисково-спасательный катер «Лидер-10». Кроме того, организовано дежурство катера МПСК «Мангуст» Дмитрий Харченко».

Выполняемые мероприятия позволят к концу 2014 года сформировать на территории Крымского федерального округа полноценную систему предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

13. Организация размещения и всестороннего обеспечения лиц, вынужденных покинуть территорию Украины. Всего развернуто 397 пунктов временного размещения, в которых размещено около 30 тыс. человек, в том числе более 100 тыс. детей. Дополнительно развернуты и готовы к приему 8 мобильных пунктов временного размещения вместимостью около 4 тыс. человек.

Организовано 6 «воздушных мостов» для доставки авиацией МЧС России вынужденных переселенцев из Ростовской области и Республики Крым в регионы Российской Федерации. Всего авиацией МЧС России перевезено более 6 тыс. человек.

Сформированы дополнительные сводные автомобильные колонны из техники субъектов Российской Федерации и МЧС России для доставки в пункты временного размещения вынужденных переселенцев. Всего автомобильным транспортом перевезено почти 7,5 тыс. человек.

Авиацией МЧС России и автомобильным транспортом доставлено более 1200 тонн грузов гуманитарной помощи в приграничные с Украиной субъекты Российской Федерации.

14. Состояние гражданской обороны в Российской Федерации. Проведено обследование более 67 тыс. объектов, что составляет почти 90% от общего количества защитных сооружений, подлежащих инвентаризации. Анализ деятельности территориальных органов МЧС России показал, что за I полугодие 2014 г. количество «готовых» защитных сооружений гражданской обороны составило 47,6% (увеличение на 1,6% по сравнению с аналогичным периодом прошлого года). Количество ЗСГО, переведенных из состояния «неготовые»

в состояние «ограниченно готовые», составило 3,3% (увеличение на 0,9%). Произошло увеличение обеспеченности населения средствами радиационной, химической защиты на 2,3%, что составило 74,2%. При этом обеспеченность населения средствами РХ разведки и радиационного контроля составила 95,7% (увеличение на 0,9%).

15. Работа по предупреждению ЧС. Разработаны и утверждены федеральные и региональные планы по смягчению рисков и реагированию на чрезвычайные ситуации в паводкоопасном периоде и по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций, вызванных природными пожарами в 2014 году.

В целях реагирования на ЧС в паводкоопасном периоде спланирована группировка сил и средств в составе: 602374 человека, 130670 ед. техники, 244 ед. авиатехники, 100105 ед. плавсредств, в том числе от МЧС России: 190832 человека, 24095 ед. техники, 72 ед. авиатехники, 2696 ед. плавсредств.

В целях реагирования на ЧС, вызванных природными пожарами, спланирована группировка сил и средств в составе: 1024569 человек, 168696 ед. техники, в том числе от МЧС России: 132881 человек, 19702 ед. техники, 59 ед. авиатехники, 565 ед. плавсредств.

16. Создание и использование финансовых и материальных резервов. Объем созданных во всех субъектах Российской Федерации резервов финансовых ресурсов для ликвидации чрезвычайных ситуаций составил 49,98 млрд. рублей.

Доля резервов финансовых ресурсов для ликвидации чрезвычайных ситуаций, приходящаяся на душу населения, в среднем по Российской Федерации составляет 347,89 рубля.

Резервы материальных ресурсов для ликвидации чрезвычайных ситуаций созданы во всех субъектах Российской Федерации, кроме Ленинградской области. Общий объем резервов материальных ресурсов для ликвидации чрезвычайных ситуаций, накопленных органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации, составляет 13,26 млрд. рублей (89,87% от планируемых объемов накопления).

Доля резервов материальных ресурсов для ликвидации чрезвычайных ситуаций, приходящаяся на душу населения, в среднем по Российской Федерации составляет 92,49 рубля.

17. Повышение готовности органов управления и сил МЧС России к выполнению задач по предназначению. Проведен Всероссийский сбор по подведению итогов деятельности за 2013 год и постановке задач на 2014 год. Проведено крупномасштабное учение по ликвидации крупномасштабных чрезвычайных ситуаций и пожаров. Проведен учебно-методический сбор с руководящим составом территориальных органов МЧС России по организации повседневной деятельности, защиты населения и территорий и экстренного реа-

гирования на чрезвычайные ситуации. Организован и проведен салон «Комплексная безопасность-2014».

18. Подготовка кадров и образовательная деятельность в системе МЧС России. Образовательными организациями высшего образования подготовлены к выпуску 2944 специалиста, в том числе из них завершили обучение на «отлично» - 272 человека и 32 человека с «золотой медалью». МЧС России приняло участие во Всероссийской общественно-государственной инициативе «Горячее сердце», проводимой Фондом социально-культурных инициатив, президентом которого является С.В. Медведева. 12 сотрудников МЧС России из числа офицеров были удостоены ежегодной премии «Офицеры России», которая учреждена Всероссийской общественной организацией «Офицеры России».

19. Совершенствование единой вертикали антикризисного управления Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. В рамках работ по совершенствованию антикризисного управления получила развитие система центров управления в кризисных ситуациях.

Проводятся работы по оптимизации деятельности дежурной смены ЦУКС.

Обеспеченность ЦУКС специальным программным обеспечением, позволяющим выполнять расчетные задачи и моделирование объектов в трехмерном формате, составила 67,1%.

Наличие баз данных, полнота и качество обработки паспортов безопасности территорий составляет 97,3%.

Обеспеченность средствами связи и автоматизированными системами управления подвижных пунктов управления составила 95% (увеличение на 3%).

20. Создание системы 112. В рамках ФЦП «Создание системы обеспечения вызова экстренных оперативных служб по единому номеру «112» в Российской Федерации на 2013-2017 годы» заключено контрактов на сумму 198802,9 тыс. руб.

Привлечено софинансирование от субъектов Российской Федерации на сумму 187749,6 тыс. руб.

Охват населения средствами оповещения увеличен на 1% и составил 89,8%.

21. Реализация Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности. В соответствии с решениями Правительства Российской Федерации МЧС России осуществляются работы по созданию комплексной системы безопасности людей в Арктической зоне.

По строительству объектов инфраструктуры специализированных аварийно-спасательных центров в городах Воркута и Надым, ведутся проектно-изыскательские работы.

По строительству специализированных аварийно-спасательных центров в п. Тикси Республи-

ки Саха (Якутия), п. Певек и г. Анадырь Чукотского автономного округа объявлены аукционы на выполнение проектно-изыскательских работ.

Проведены работы по подготовке к открытию Арктического спасательного учебно-научного центра «Вытегра».

22. Международная гуманитарная деятельность МЧС России. Проведено 12 операций в рамках мероприятий по чрезвычайному гуманитарному реагированию. Оказана международная гуманитарная помощь 25 странам мира, среди них Сирия, Ливан, Иордания, Китай, Кения, Киргизия, КНДР, Шри-Ланка, Сербия, Мали, Мозамбик, Палестина, Сомали, Таджикистан, Армения, Азербайджан, Намибия, Эфиопия, Куба, Никарагуа, Абхазия, Южная Осетия, Филиппины, Лесото.

Общий объем предоставленной помощи составил более 426 тонн гуманитарных грузов.

Специалисты МЧС России приняли участие в качестве наблюдателей в международных учениях в формате регионального форума АСЕАН по безопасности (Индонезия), а также в учебно-методическом сборе по отработке действий аварийно-спасательных служб при ликвидации крупномасштабных чрезвычайных ситуаций и их последствий (Беларусь).

23. Совершенствование надзорной деятельности. Продолжаются работы по снижению уровня государственного регулирования предпринимательской деятельности и перераспределению основных усилий надзорных органов на профилактическую работу.

Количество проверок в области пожарной безопасности по сравнению с аналогичным показателем прошлого года сократилось на 38%.

Количество проверок в области гражданской обороны составляет 6521 (снижение почти на 90%).

24. Повышение культуры безопасности жизнедеятельности населения. Проведено на различных уровнях более 12 тыс. соревнований в рамках «Школы безопасности» и работы полевых лагерей «Юный спасатель», в которых приняло участие более 1 млн. 100 тыс. детей.

Продолжается деятельность по подготовке граждан по вопросам безопасности жизнедеятельности. Обучено около 150 тыс. человек из числа руководителей и должностных лиц. Более 7,5 млн. учащихся изучают основы безопасности жизнедеятельности.

Создано 21689 дружин юных пожарных, с общей численностью 242187 человек. Обучением мерам пожарной безопасности организовано в 2877 обучающих организациях, где прошли обучение пожарно-техническому минимуму 320681 человек, в том числе в учебных центрах ФПС ГПС обучились 14 611 человек.

25. Деятельность добровольной пожарной охраны на территории Российской Федерации. Действует более 37415 общественных объединений пожарной охраны.

Численность личного состава общественных объединений пожарной охраны составляет 915930 человек.

Территориальными подразделениями добровольной пожарной охраны прикрито 37962 населенных пункта с общей численностью населения более 13400000 тыс. человек.

Проведено более 3900 аварийно-спасательных работ. Самостоятельно потушено более 1300 пожаров и принято участие в тушении более 8600 пожаров в качестве дополнительных сил. На пожарах подразделениями добровольной пожарной охраны спасено 270 человек.

26. Организация информирования населения и работа со средствами массовой информации. Ежедневно в печатных и электронных СМИ регистрируется более 2500 упоминаний о деятельности МЧС России (увеличение на 16% по сравнению с АППГ), из них большую часть (свыше 70%) составляет оперативная информация. Во время ликвидации последствий региональных и федеральных ЧС пиковые значения упоминаний в СМИ достигают 50000 сообщений в сутки.

За отчетный период в федеральных и региональных СМИ вышло более 700000 сообщений о деятельности МЧС, свыше 500000 - по оперативной деятельности.

27. Основные задачи МЧС России на II полугодие 2014 года:

– осуществить меры по совершенствованию законодательных и иных нормативных правовых

актов, направленных на актуализацию задач и способов защиты населения и территорий, развитие гражданской обороны, повышение уровня пожарной безопасности с учетом современных социально-экономических реалий;

– разработать и внедрить Комплексную систему профилактики, предупреждения и максимального смягчения последствий природно-техногенных чрезвычайных ситуаций;

– продолжить модернизацию центров управления в кризисных ситуациях путем внедрения современных информационно-коммуникационных технологий;

– обеспечить внедрение системы вызова экстренных оперативных служб по единому номеру «112» в субъектах Российской Федерации.

Выводы: в I полугодии 2014 года МЧС России выполнен весь комплекс мероприятий, направленных на развитие системы безопасности жизнедеятельности россиян.

Оперативно решались все вопросы тушения пожаров, реагирования на чрезвычайные ситуации, а также оказания помощи пострадавшим.

Министерство непрерывно и целенаправленно совершенствует свою деятельность по предупреждению, ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций и обеспечению пожарной безопасности, а также повышает готовность к реагированию на крупномасштабные чрезвычайные ситуации и пожары.

THE RESULTS OF THE EMERCOM OF RUSSIA IN THE FIRST HALF OF 2014

In the analytical report of the EMERCOM of Russia presents data on the results of the office's activities in the first half of 2014.

Keywords: EMERCOM of Russia, security, emergency, fire safety.