

## БЕЗОПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

УДК 614.841.345:629.7.042.2

### ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ, ВОЗМОЖНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И ТРЕБОВАНИЯ К ПОЛИМЕРНЫМ МАТЕРИАЛАМ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВНЕШНЕГО КОНТУРА АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

С.Л. Барботько

*В связи с необходимостью изготовления транспортных самолетов, имеющих высокую экономичность и пассажироместимость, и повышения пожарной безопасности авиационной техники в мировой практике осуществляется расширение использования полимеров в качестве конструкционных материалов. В статье рассмотрены вопросы изменения пожарной безопасности авиационной техники при замене обшивок внешнего контура, выполненных из алюминиевых сплавов, на обшивки, изготовленные из полимерных композиционных материалов. Проанализированы методы оценки пожарной безопасности конструкционных материалов, находящихся на внешней поверхности изделия и подверженных воздействию пламени от пожара растёкшегося топлива. Показано, что на настоящий момент полимерные композиционные материалы ещё не обеспечивают существенного повышения пожарной безопасности: повышение стойкости к сквозному прогоранию нивелируется способностью распространять пламя по поверхности.*

**Ключевые слова:** *пожарная безопасность, полимерные материалы, ПКМ, авиационные требования, методы испытаний, внешний контур самолёта, композиционный фюзеляж.*

**Введение.** Развитие мировой производственной интеграции, расширение взаимного сотрудничества различных регионов диктует необходимость увеличения пассажирских и грузовых транспортных потоков. Для реализации данных потребностей необходимо использование транспорта, обеспечивающего быстрые перевозки больших объемов на любые расстояния. Для реализации этой цели необходимо решение задачи по созданию большегрузных, в том числе пассажирских, самолетов. Ведущими мировыми авиастроительными корпорациями запланированы разработка и выпуск

самолетов, обеспечивающих одновременную перевозку до 1000 пассажиров [1-2]. Конкуренспособные изделия должны будут иметь меньшую массу и расход топлива в расчете на 1 пассажиро- или 1 килограммо-километр. Решение этой задачи невозможно без использования материалов нового поколения, в том числе полимерных композиционных (ПКМ) и гибридных материалов. Снижение массы конструкции самолета В-757 всего на 1400 кг (4%) обеспечило экономию до 300 т топлива в год.

В конструкции В-787 доля ПКМ составляет около 50 % и, по разным источникам, использовано 35...50 т ПКМ взамен алюминиевых сплавов, за счет чего масса фюзеляжа снижена на 20% [3-6].

Повышение пассажироместимости авиационной техники диктует необходимость повышения требований к обеспечению безопасности пассажиров в случае летных происшествий. Наиболее сложными для обеспечения выживаемости пасса-

---

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

жиров являются ситуации, связанные с разливом и воспламенением топлива, возникновением и развитием внешнего пожара. Алюминиевые сплавы, широко применяемые в настоящее время для изготовления внешнего контура авиационной техники (фюзеляж, крыло, рули направления и высоты, и др.), не способны обеспечить длительную огнестойкость конструкции, в результате чего пламя и раскаленные продукты горения быстро проникают во внутренние отсеки [7-10]. Одним из возможных путей решения данной проблемы может быть использование полимерных композиционных или металл-полимерных гибридных материалов [10-12].

Авиационная техника имеет длительные сроки службы (20 и более лет) и может эксплуатироваться в различных климатических условиях. За время эксплуатации необходимо избежать существенного снижения физико-механических характеристик основных конструктивных элементов планера (Авиационные правила, п.609) [13]. Алюминиевые сплавы подвержены коррозии, имеют склонность к распространению трещин и усталостному разрушению при воздействии циклических нагрузок. Эти проблемы также могут быть решены в случае использования ПКМ.

При создании авиационной техники оборонно-военного назначения должны быть решены задачи по снижению заметности и обеспечению высокой маневренности. Решение этих задач также невозможно без широкого использования высокомодульных полимерных конструкционных материалов и полимерных материалов специального назначения [6, 14-15].

Содержание полимерных материалов в конструкциях авиационной техники постоянно растет и в настоящее время достигает 50-70 %, причем для крупных транспортных самолетов их масса может превышать 50 т [4]. Подавляющее большинство полимерных материалов является углерод- и водородсодержащими органическими соединениями, способными к термоокислительной деструкции при воздействии повышенных температур и/или открытого пламени. Кроме атомов углерода, кислорода и водорода многие полимеры также содержат атомы азота, серы, в качестве антипиренов в состав полимерной матрицы вводят соединения, содержащие фосфор, мышьяк, сурьму, галогены. В качестве наполнителя используются углеродные, стеклянные, органические и др. волокна. Поэтому при горении ПКМ могут образовываться вещества, имеющие токсические свойства или представляющие другую опасность. Вследствие этого основными условиями широкого применения ПКМ в конструкциях авиационной техники является отсутствие снижения эксплуатационных характеристик и безопасности перевозимых людей [9-12].

Так как алюминиевые сплавы в условиях обычных углеводородных пожаров не горят, то требования по пожарной безопасности к материалам внешнего контура авиационной техники в настоящее время не предъявляются. Зарубежный опыт эксплуа-

тации военной авиационной техники, имеющей большую долю полимерных материалов, показал высокую пожарную опасность использованных полимеров, в том числе для персонала, осуществляющего тушение пожара [6, 14]. Поэтому прежде чем начать широкомасштабное применение ПКМ в конструкциях внешнего контура авиационной техники, необходимо проведение работ, направленных на выбор методов оценки пожарной опасности материалов, определение их реальных и нормирование допустимых характеристик.

Увеличение использования полимерных материалов в авиационной технике выдвигает на первый план возросшее значение понимания их поведения при действии огня и их огнестойкости, чтобы обеспечить безопасность пассажиров. Поэтому Федеральная Авиационная администрация США приняла программу «Fire-Safe Materials», чтобы разработать материалы для использования в самолете, которые способны обеспечить приемлемые для выживания условия в салоне самолета, по крайней мере, в течение 10 – 15 минут в случае топливного пожара после аварийной посадки [16] и создать к 2015 году огнестойкий фюзеляж [8]. В рамках Федеральных целевых программ работы по созданию полимерных материалов повышенной пожарной безопасности различного функционального назначения проводятся и в России (ФЦП «Развитие гражданской авиационной техники России на 2002-2010 годы и на период до 2015 года» [17] и др.). Вопросы оценки пожарной безопасности конструкционных материалов, в том числе подвергаемых воздействию различных эксплуатационных и климатических факторов неоднократно рассматривались в различных работах [18-23].

**Анализ условий внешних пожаров авиационной техники.** Большинство аварийных ситуаций происходит на этапах руления, взлета, захода и совершения посадки [7, 14, 24]. При этом высока вероятность разрушения топливных баков и разлива топлива. Большинство (около 70%) таких аварий сопровождается возникновением пожара. Процент же возникновения пожаров в воздухе незначителен [6, 25]. Аварийные ситуации зачастую происходят в неблагоприятных метеорологических условиях и могут быть на значительном удалении от аэродрома, поэтому эвакуация пассажиров должна быть произведена до прибытия на место пожарных расчетов, и огнестойкость корпуса должна обеспечивать заданное время эвакуации.

Пламя, возникающее при горении авиационного топлива, характеризуется как большими размерами очага и высоты, так и тепловым потоком. Среднее значение высоты пламени может достигать 8 м, площадь горения может превышать 1000 м<sup>2</sup>, температура пламени до 1300 °С, а тепловой поток до 300 кВт/м<sup>2</sup> [7]. Алюминиевая обшивка фюзеляжа под действием высокой температуры и огня пожара прогорает в течение 30-90 с, после чего пламя проникает во внутренние отсеки. Внешний вид пассажирских самолетов после таких пожаров приведен, например, в [8].

На настоящий момент времени пожаров пассажирских самолетов транспортной категории, изготовленных с применением большой доли композитов, не было (Boeing 787, Airbus 380), поэтому о реальном изменении пожарной безопасности вследствие применения ПКМ в конструкции самолета, основанной на статистических данных, говорить не приходится. Зафиксированные пожары с самолетами легкой и очень легкой категорий с выполненными из ПКМ фюзеляжами и крыльями показывают, что в случае пожара они выгорают практически полностью и восстановлению не подлежат [6]. Открытые данные по пожарам отечественной авиационной военной техники отсутствуют; данные по зарубежным инцидентам показывают, что для тушения пожаров требуется в 10 раз больше тушащих средств, чем для обычных самолетов той же массы, при этом остаточное горение может продолжаться еще несколько дней. Персонал, участвующий в тушении, может иметь проблемы связанные с ингаляцией мелкодисперсных углеродных частиц [6, 14].

**Анализ основных характеристик пожарной опасности к ПКМ для внешнего контура авиационной техники и методов испытаний, результаты.** В настоящее время к материалам авиационного назначения предъявляются требования по следующим характеристикам пожарной опасности<sup>1</sup> [26]:

- Горючесть (воспламеняемость от контакта с малокалорийным открытым пламенем, способность поддерживать самостоятельное горение и распространять пламя по поверхности).
- Дымообразующая способность (оптическая плотность дыма).
- Тепловыделение при горении.
- Стойкость к сквозному прогоранию, огнестойкость и огнепроницаемость.

Так как условия возникновения и развития очага пожара внутри самолета<sup>2</sup> и внешнего пожара от разлившегося топлива существенно отличаются, то очевидно, что требования по определяемым (нормируемым) характеристикам и методам их оценки должны быть различны.

Поскольку метод оценки горючести согласно требованиям авиационных норм (в любой из его модификаций) подразумевает воздействие пламенем малокалорийного источника огня (лабораторная горелка Бунзена), то очевидно, что выполнение этих требований будет явно недостаточным для признания безопасности использования ПКМ.

Основным аргументом, описывающим преимущества использования ПКМ перед алюминиевыми сплавами, является показатель стойкости к сквоз-

ному прогоранию (огнестойкость). Согласно существующим нормам по сертификации авиационной техники, конструкция самолета должна обеспечить эвакуацию пассажиров в течение 90 с даже при половине заблокированных выходов. С учетом времени, необходимого на подготовку, и коэффициентами запаса, требуется, чтобы сохранялись допустимые условия для выживания в течение 4 мин., поэтому огнестойкость (по критерию отсутствия проникновения пламени) не должна быть меньше 5 мин. ПКМ на основе эпоксидных смол и углеродного или стеклянного наполнителя толщиной более 2 мм выдерживают воздействие пламени с температурой 1000-1100 °С в течение более 15 мин без наличия сквозного прогорания и проникновения пламени на тыльную сторону.

Для осуществления успешного спасения людей необходимо, чтобы выходы, через которые осуществляется эвакуация, не были заблокированы и/или охвачены огнем. То есть необходимо, чтобы пламя даже при воздействии внешнего теплового потока не распространялось по поверхности. Имеется несколько методов, позволяющих оценивать распространение пламени по поверхности материала, например: ГОСТ Р 51032-97 (ГОСТ 30444-97), ASTM E1321 (ISO 5658-2).

ГОСТ Р 51032-97, или его авиационная модификация (АП-25 приложение F часть VI), подразумевает распространение пламени по верхней стороне горизонтально расположенного образца при воздействии внешнего теплового потока. Так как тепловой поток снижается вдоль по длине образца, то на некотором расстоянии от источника воспламенения происходит самопроизвольное погасание. Критический тепловой поток, при котором образец перестает гореть, продолжительность самостоятельного горения, длина и скорость распространения пламени являются характеристиками в данном виде испытания.

Метод ASTM E1321, ISO 5658-2:2006 (для морского флота – IMO<sup>3</sup> FTP<sup>4</sup> Code Part 5) регистрирует распространение пламени вбок по вертикальной поверхности (латеральное). При этом испытании тепловой поток также уменьшается по длине образца. Определяемыми характеристиками являются: критический тепловой поток при затухании, теплота устойчивого горения, общее тепловыделение<sup>5</sup>, пиковая скорость тепловыделения, наличие горящих капель.

В техническом центре FAA разработали несколько методов оценки распространения пламени вверх по поверхности образца, подвергнутого воздействию теплового потока и/или открытого пламени [27, 28]. Проведенные испытания конструкционных ПКМ для авиации показали, что распространение пламени по образцу прекращается только при отсут-

<sup>1</sup> Как уже отмечалось [26], при возможном совпадении терминов, используемые методы определения характеристик различаются для авиационной и строительной отраслей.

<sup>2</sup> В данной работе рассматривается, в первую очередь, пожарная опасность полимерных материалов применительно к большим транспортным пассажирским самолетам, так как именно из них наиболее сложно осуществить своевременную эвакуацию и обеспечить выживаемость пассажиров в случае летных происшествий.

<sup>3</sup> *International Maritime Organization* – Международная морская организация.

<sup>4</sup> *Fire Test Procedure* – Комплекс методик испытаний на пожаробезопасность IMO.

<sup>5</sup> При совпадении написания терминов, касающихся тепловыделения, при испытаниях согласно методу IMO размерность, значения и метод определения существенно отличается от методики используемой в авиационной отрасли.

ствии теплового потока и пламени, инициирующего воспламенение.

Согласно требованиям TSO<sup>6</sup>-С69а материалы спасательных надувных трапов для эвакуации пассажиров должны выдерживать тепловой поток в  $17 \text{ кВт/м}^2$  в течение не менее 90 с [29]. Имеются материалы для спасательных трапов, обеспечивающие длительность их работоспособности, более чем в 10 раз превышающую нормативные требования [30]. Однако образцы перспективного ПКМ распространяли пламя сверху вниз при тепловом потоке свыше  $14 \text{ кВт/м}^2$ , а в горизонтальном положении – при тепловом потоке уже более  $6 \text{ кВт/м}^2$ . Для композиционного материала, использованного при изготовлении фюзеляжа самолета Boeing 787, критический тепловой поток для латерального распространения пламени составляет  $16 \text{ кВт/м}^2$  [28]. То есть по такому материалу пламя пожара может распространиться и охватить рабочие эвакуационные выходы. При попадании открытого пламени в зону эвакуационных выходов спасательные средства (надувные трапы, веревочные лестницы, канаты) утратят свою работоспособность, подавляющее большинство людей психологически не готовы преодолеть зону пламени даже ради своего спасения, через открытые проёмы пламя начнёт воздействовать на материалы внутренней отделки.

Дымообразование и выделение токсичных газов для материалов внешнего контура не является столь критичным, как для материалов внутренней отделки. Но эти факторы могут представлять опасность для специалистов, осуществляющих тушение пожара, и затруднять выполнение работы. Так как конструкция обшивок фюзеляжа предполагает использование сравнительно тонких материалов (2-3 мм), в процессе пожара под воздействием огня и теплового потока полимерная матрица ПКМ станет разлагаться и продукты её термоокислительной деструкции будут выделяться как на внешнюю поверхность, так и вовнутрь. Поэтому контроль характеристик дымообразования и токсичности продуктов горения необходим. Так как условия горения и термодеструкции материалов во внешнем пожаре существенно отличаются от условий возможного очага пожара от малокалорийного источника воспламенения во внутренних отсеках самолета, то и условия испытаний материалов должны быть другими.

Существует целый ряд различных методов для контроля дымообразующей способности материалов. Обычно определение характеристик дымообразования подразумевает измерение оптической плотности дыма в замкнутом объеме испытательной камеры. Например, ГОСТ 12.1.044-89 п.4.18, ГОСТ 24632, ASTM E662 и ASTM F814, ISO 5659-2, ASTM D2843. Возможен контроль оптической плотности и для проточной среды, например при определении тепловыделения согласно ASTM E1354 (ISO 5660-2). Метод ASTM F814 подразумевает измерение дыма при воздействии на образец только пламени горелки, осталь-

ные методы подразумевают использование источника теплового потока с воспламенением образца пламенем пилотной горелки (режим – «горение») или без него (режим – «пиролиз»). ГОСТ 12.1.044-89 п.4.18 предусматривает проведение испытаний при различных тепловых потоках с установлением наиболее жесткого для данного материала режима испытания. Остальные методы предусматривают проведение испытаний при определенных, заранее заданных тепловых потоках ( $25$  или  $50 \text{ кВт/м}^2$ ).

Вышеперечисленные методы определения дымообразования могут быть дополнены или несколько видоизменены для определения токсичности продуктов горения. Это могут быть биоассоциативные методы (по смертности живых организмов), методы, основанные на газовом анализе, или их комбинации (например, ГОСТ 12.1.044-89 п.4.20, BSS<sup>7</sup> 7239, AITM<sup>8</sup> 3.0005, ASTM E1678, ISO 19702, ISO 13344 и др.). Виды и количественные критерии допустимых концентраций газов существенно различаются. Наибольшее количество видов определяемых газов приведено в зарубежном военном стандарте STANAG 4602.

Но эти методы позволяют оценить количество дыма и токсичных веществ, выделяющихся наружу из горящего материала (или с двух поверхностей одновременно). Это позволяет выявить опасность для людей, находящихся вне авиационной техники (спасатели, пожарные), но не для тех, кто ещё находится внутри. Поэтому в Техническом центре FAA (Атлантик Сити, США) и Испытательном центре по аэронавтике (Тулуза, Франция) используется методика определения дымообразования ПКМ при воздействии пламени снаружи [9, 31, 32]. Сущность метода состоит в воздействии пламени керосиновой горелки с температурой  $1000-1100^\circ\text{C}$  на образец размерами  $600 \times 600 \text{ мм}$ , закрепленный на лицевой поверхности камеры объемом в  $1 \text{ м}^3$ . При проведении испытаний контролируется стойкость материала к сквозному прогару (видеосъемка с тыльной стороны образца), оптическая плотность дыма, выделяемого внутрь камеры тыльной стороной материала, виды и количество образующихся газов. Кинетика выделения продуктов термодеструкции регистрируется при помощи FTIR-спектрометра. По результатам проведенных испытаний показано, что количество дыма и токсичных веществ, выделяющихся из ПКМ, как правило, многократно меньше, чем при использовании алюминиевой обшивки и типовой теплозвукоизоляции на основе стекломатов. Результаты лабораторных испытаний подтверждены четверть- и полномасштабными экспериментами [10, 32]. Это объясняется фильтрацией сквозь маты изоляции во внутренние отсеки самолета продуктов горения от разлившегося топлива (преимущественно – углекислый и угарный газ) после сквозного прогорания алюминиевых обшивок и от-

<sup>6</sup> Technical Standard Order – технический стандарт, США.

<sup>7</sup> BSS standards – Boeing Specification Support Standards – технические стандарты корпорации Boeing

<sup>8</sup> AITM – Airbus Industrie Test Method – технический стандарт на проведение испытаний корпорации Airbus Industrie

сутствием проникновения продуктов горения при использовании обшивок из ПКМ.

Характеристики тепловыделения при горении актуальны для оценки скорости развития очага пожара в замкнутом объеме, их влияние на процесс горения внешней обшивки существенно меньше. Однако сопоставление материалов для внешних обшивок самолетов по этим характеристикам также производится. В работе [28] показано, что максимальная интенсивность выделения тепла при горении ПКМ толщиной 3,2 мм, использованного для изготовления обшивки фюзеляжа B-787, превышает показатель для древесной панели толщиной 14,7 мм, как по методу сопел-калориметра (ASTM E1354), так и по методу латерального распространения пламени (ASTM E1321).

Таким образом, на настоящий момент времени, использованные ПКМ для изготовления внешнего контура больших транспортных самолетов не обеспечивают существенного улучшения характеристик пожаробезопасности авиационной техники. Улучшение показателей стойкости к прогоранию и снижение концентраций токсичных газов нивелируется низкой стойкостью к распространению пламени.

Повышение характеристик пожарной безопасности материалов внешнего контура сейчас ведется по нескольким направлениям: использование металл-гибридных полимерных материалов, разработка огнезащитных покрытий и высокотермостойких полимерных связующих для изготовления ПКМ.

Металл-полимерные гибридные материалы, представляющие собой чередование тонких слоев металл (алюминий, титан) и стекло- (СИАЛ, GLARE), угле- или органопластика (АЛОП), имеют огнестойкость выше стекло- или углепластиков, лучше сопротивляются росту трещины, более устойчивы к удару и действию взрывной волны, плохо распространяют пламя по поверхности [33, 28]. Материал GLARE используется для изготовления внешних обшивок фюзеляжа самолета A-380 [28]. Однако в силу более высокой плотности, выигрыш по массе данный тип материала даёт существенно меньший, чем ПКМ.

Огнезащитные покрытия приводят к дополнительному увеличению веса, они подвержены воздействию климатических факторов, в результате чего снижается их эффективность. Поэтому целесообраз-

ность их применения для защиты внешнего контура авиационной техники от внешнего пожара в настоящее время не рассматривается.

Работы по созданию термостойких связующих и ПКМ на их основе ведутся в разных странах мира [35 – 41]. Некоторые сводные данные [42–46] по пожарной опасности металлов, полимеров и ПКМ приведены в таблице. Использование, например, связующих на основе бисфенола или цианэфирабисфенола, полифенилсульфона, полиэфиркарбоната, полиимидов, бисгидроксидиоксибензоин полиакрилатов позволяет существенно повысить пожарную безопасность образцов ПКМ на их основе как для внешнего контура авиационной техники, так и для элементов внутренней отделки. Зафиксировано существенное улучшение большинства регистрируемых характеристик пожарной безопасности. Таким образом, надежды на повышение пожарной безопасности авиационной техники за счет перехода от алюминиевых сплавов к полимерным композиционным материалам в ближайшее время будут претворены в жизнь.

**Выводы.** Проанализированы возможные методы оценки пожарной безопасности, перспективные для оценки и нормирования характеристик пожаробезопасности конструкционных полимерных композиционных материалов, предназначенных для изготовления обшивок внешнего контура авиационной техники.

По литературным данным показано изменение стойкости к сквозному прогоранию, тепловыделению и распространению пламени по поверхности при замене обшивок из алюминиевого сплава на ПКМ. Отмечено, что достигнутые характеристики по стойкости к распространению пламени при воздействии теплового потока для ПКМ использованных при изготовлении самолета B-787 не обеспечивают требований пожарной безопасности для осуществления эвакуации пассажиров в случае внешнего пожара при наземном летном происшествии. Проведено сопоставление характеристик пожарной опасности различных материалов, в том числе использующихся и перспективных для применения на внешнем контуре авиационной техники. Показаны тенденции в разработке высокотермостойких конструкционных полимерных материалов, способных обеспечить необходимые требования по пожарной безопасности.

Таблица. Сравнение пожароопасных свойств различных материалов [42 – 46]

Наименование материала	Характеристики пожарной опасности <sup>9</sup>				
	температура воспламенения и/или термодеструкции, °С	горючесть <sup>10</sup>	дымообразование <sup>11</sup>	тепловыделение <sup>12</sup> , кВт/м <sup>2</sup>	теплота сгорания, кДж/г <sup>13</sup>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
Алюминий	320...2500 <sup>14</sup> 933,5 <sup>15</sup>	трудногорающий	практически не выделяет дым	менее 5	31,1
Магний	650	- <sup>16</sup>	-	-	25,0
Железо	- 1811 <sup>15</sup>	трудногорающий	практически не выделяет дым	менее 5	7,3
Титан	350 <sup>14</sup> 1941 <sup>15</sup>	трудногорающий	практически не выделяет дым	-	~20
Углеродное волокно	500...900 <sup>17</sup>	трудногорающий	практически не выделяет дым	менее 5	32,8
Древесина	210...250	сгорающий	существеннодымящий	150...250	16...18
Полиметилметакрилат	300	сгорающий	существеннодымящий	более 800	26,7
Поливинилхлорид	390	самозатухающий	сильнодымящий	100...250	18,2
Фторопласт-4	380...420	трудногорающий	практически не выделяет дым	5...10	4,3
Стеклопластик на полиэфирном (винилэфирном) связующем	-	сгорающий	сильнодымящий	100...150	-
ПКМ (стекло- или углепластик) на эпоксидном связующем	350...420	сгорающий	существеннодымящий	120...180	32...35
ПКМ на эпоксидном огнезащищенном (бромсодержащем) связующем	350...420	самозатухающий	сильнодымящий	90...120	30...32
Стеклопластик на связующем из поликарбоната	400...420	самозатухающий	существеннодымящий	60...90	30...32
Стеклопластик на связующем из полисульфона	420...480	самозатухающий	слабодымящий	60...75	30...31

<sup>9</sup> Определение характеристик пожарной опасности проводилось согласно методам авиационных норм. При определении характеристик использованы образцы материалов с толщинами около 2 мм

<sup>10</sup> Метод испытания и классификация по АП-25 (Приложение F Часть I) и ОСТ 1 90094 (время воздействия пламенем лабораторной горелки – 60 с, допустимая продолжительность остаточного самостоятельного горения – не более 15 с, допустимая длина прогорания – не более 152 мм)

<sup>11</sup> Метод испытания и классификация по ГОСТ 24632-81

<sup>12</sup> Приведены данные по максимальной интенсивности тепловыделения (пик), испытания проведены в соответствии с методом изложенным в АП-25 Приложение F, Часть IV

<sup>13</sup> Для ПКМ приведены теплоты сгорания полимерных связующих.

<sup>14</sup> Для воспламенения необходимо удаление защитной окисной пленки.

<sup>15</sup> Приведена температура плавления металлов. Температуры плавления сплавов на их основе могут существенно отличаться.

<sup>16</sup> В зависимости от марки сплава и обработки поверхности характеристики меняются от «сгорающий» до «трудногорающий»

<sup>17</sup> Здесь и далее: в зависимости от конкретной марки материала.

1	2	3	4	5	6
Стеклопластик на связующем из полиэфирсульфона	500...550	трудногорающий	практически не выделяет дым	15	28,5
Стеклопластик на связующем из полиэфирэфиркетона	550...600	трудногорающий	практически не выделяет дым	5...10	31
Стеклопластик на фенольном связующем	400...550	самозатухающий	слабодымящий	15...70	30...35
Стеклопластик на кремнийорганическом связующем	450...600	трудногорающий	слабодымящий	5...10	-
Стеклопластик на полиимидном связующем	550...650	трудногорающий	практически не выделяет дым	10...35	-
Стеклопластик на алюмофосфатном связующем	-	трудногорающий	практически не выделяет дым	менее 5	0
Металл - полимерный композит (СИАЛ, GLARE)	-	трудногорающий	практически не выделяет дым	менее 5	-
<b>Углеродный пластик для изготовления фюзеляжа самолета В-787</b>	<b>450 (воспламеняется и распространяет пламя при воздействии теплового потока &gt;14 кВт/м<sup>2</sup>)</b>	<b>самозатухающий</b>	<b>среднедымящий</b>	<b>70...300<sup>18</sup></b>	<b>-</b>

**Библиографический список**

**References**

1. **Киселев, В.** Гражданские самолеты: возрастание размеров / В. Киселев //Авиапанорама. - 2002. - №2. 3. [Электронный ресурс] – URL: <http://www.aviapanorama.ru/2002/05/grazhdanskie-samolety-vozzrastanie-razmerov-2> и <http://www.aviapanorama.ru/2002/07/grazhdanskie-samolety-vozzrastanie-razmerov>. (дата обращения: 26.11.2014).
2. **Decadal Survey of Civil Aeronautics:** Foundation for the Future /Steering Committee for the Decadal Survey of Civil Aeronautics. National Research Council. 2006. 212 p.
3. **Когда горят композиты** // Проблемы безопасности полетов. - 2010. - №4. - С. 49–51.
4. **Du Shanyi.** Advanced composite materials and aerospace engineering //Fuhe cailiao xuebao = Acta Materiae Compositae Jinica. 2007. V. 24. №1. P. 1–12.
5. **Destefany J.** Hole in four ... or more //Cutting tool engineering. 2011. V. 63. №1. P. 34, 36, 38–40.
6. **Pickett B.M., Dierdorf D.S., Wells S.P.** Firefighting and emergency response study of advanced composites aircraft. Objective 2: Firefighting Effectiveness of Technologies and Agents on Composite Aircraft Fires //Air Force Research Laboratory Report AFRL-RX-TY-TR-2011-0047. 2012. 36 p.
7. **Теребнев В.В., Артемьев Н.С., Грачев В.А.** Транспорт: наземный, морской, речной, воздушный, метро. Противопожарная защита и тушение пожаров. Кн. 6. / В.В.

1. **Kiselev V.** Grazhdanskie samolety: vozzrastanie razmerov / V. Kiselev // Aviapanorama. - 2002. - №2, 3. <http://www.aviapanorama.ru/2002/05/grazhdanskie-samolety-vozzrastanie-razmerov-2> и <http://www.aviapanorama.ru/2002/07/grazhdanskie-samolety-vozzrastanie-razmerov>.
2. **Decadal Survey of Civil Aeronautics:** Foundation for the Future /Steering Committee for the Decadal Survey of Civil Aeronautics. National Research Council. 2006. 212 p.
3. **Kogda goryat kompozityi** // Problemy bezopasnosti poletov. - 2010. - №4. - S. 49–51.
4. **Du Shanyi.** Advanced composite materials and aerospace engineering //Fuhe cailiao xuebao = Acta Materiae Compositae Jinica. 2007. V. 24. №1. P. 1–12.
5. **Destefany J.** Hole in four ... or more //Cutting tool engineering. 2011. V. 63. №1. R. 34, 36, 38–40.
6. **Pickett B.M., Dierdorf D.S., Wells S.P.** Firefighting and emergency response study of advanced composites aircraft. Objective 2: Firefighting Effectiveness of Technologies and Agents on Composite Aircraft Fires //Air Force Research Laboratory Report AFRL-RX-TY-TR-2011-0047. 2012. 36 p.
7. **Terebnev V.V., Artemev N.S., Grachev V.A.** Transport: nazemnyy, morskoy, rechnoy, vozdushnyy, metro. Protivopozharnaya zaschita i tushenie pozharov. Kn. 6. / V.V. Terebnev, N.S. Artemev, V.A. Grachev // M.: Pozhnauka.

<sup>18</sup> По различным источникам [27, 28, 35]

Теребнев, Н.С. Артемьев, В.А. Грачев // М.: Пожнаука. 2007. - 383 с.

8. **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](http://www.fire.tc.faa.gov/2007Conference/files/General_Fire/TueAM/SarkosFAAFire/SarkosFAAFirePres.pdf).

9. **Le Neve S.** Fire behavior of structural composite materials /In: 5-th Triennial International Aircraft Fire and Cabin Safety Research Conference. Atlantic City. 2007.

10. **Marker T.R.** Development of a Laboratory-Scale Test for Evaluating the Decomposition Products Generated Inside an Intact Fuselage During a Simulated Postcrash Fuel Fire //FAA Report DOT/FAA/AR-TN07/15. 2008. 48 p.

11. **Quintiere J.G., Walters R.N., Crowley S.** Flammability Properties of Aircraft Carbon-Fiber Structural Composite //FAA Report DOT/FAA/AR-07/57. 2007. 43 p.

12. **Marker T.R., Speitel L.C.** Evaluating the Decomposition Products Generated Inside an Intact Fuselage During a Simulated Postcrash Fuel Fire //FAA Report DOT/FAA/AR-09/58. 2011. 86 p.

13. **Авиационные правила.** Часть 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории. Межгосударственный авиационный комитет. ОАО «Авиаздат», 2009. - 267 с.

14. **Mouritz A.P., Gibson A.G.** Fire Properties of Polymer Composite Materials // Springer, Dordrecht, The Netherlands. 2006. 398 p.

15. **Johnson J.D.** Non-destructive evaluation of aerospace composites /In: Report Air force institute of technology AFIT/GMS/ENP/09-M02, Department of the air force Air university, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio. 2009. 73 p.

16. **Lyon R.E.** Federal aviation administration research in fire safe materials for aircraft interiors /In: Proceedings of the International SAMPE Symposium, 41, (1996), Anaheim, CA, pp. 344-350.

17. **Постановление Правительства РФ** от 05.12.2001 № 848 (ред. от 22.04.2010) «О Федеральной целевой программе «Развитие транспортной системы России (2010-2015 годы)». Подпрограмма «Гражданская авиация» Федеральной целевой программы «Развитие транспортной системы России (2010-2015 годы)».

18. **Шуркова Е.Н.** Сравнительная оценка пожаробезопасности ПКМ для изготовления элементов внешнего контура авиационной техники / Е.Н. Шуркова, О.С. Вольный, А.Н. Луценко, С.Л. Барботко // Пожаровзрывобезопасность. - 2014. - Т. 23. - №2. - С. 20–27.

19. **Барботко, С.Л.** Пожарная безопасность авиационных материалов обеспечивает безопасность полетов / С.Л. Барботко // Авиационные материалы и технологии. - 2012. - №5. - С. 431–439.

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

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

22. **Барботко, С.Л.** Влияние длительного теплового воздействия на пожаробезопасность полимерных материалов / С.Л. Барботко, М.С. Барботко, О.С. Вольный, В.И. Постнов // Пожаровзрывобезопасность. - 2014. - Т. 23. - №1. - С. 12–20.

23. **Скрылёв, Н.С.** Исследование влияния теп-

2007. - 383 с.

8. **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](http://www.fire.tc.faa.gov/2007Conference/files/General_Fire/TueAM/SarkosFAAFire/SarkosFAAFirePres.pdf).

9. **Le Neve S.** Fire behavior of structural composite materials /In: 5-th Triennial International Aircraft Fire and Cabin Safety Research Conference. Atlantic City. 2007.

10. **Marker T.R.** Development of a Laboratory-Scale Test for Evaluating the Decomposition Products Generated Inside an Intact Fuselage During a Simulated Postcrash Fuel Fire //FAA Report DOT/FAA/AR-TN07/15. 2008. 48 p.

11. **Quintiere J.G., Walters R.N., Crowley S.** Flammability Properties of Aircraft Carbon-Fiber Structural Composite //FAA Report DOT/FAA/AR-07/57. 2007. 43 p.

12. **Marker T.R., Speitel L.C.** Evaluating the Decomposition Products Generated Inside an Intact Fuselage During a Simulated Postcrash Fuel Fire //FAA Report DOT/FAA/AR-09/58. 2011. 86 p.

13. **Авиационные правила.** Част 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории. Межгосударственный авиационный комитет. ОАО «Авиаздат», 2009. - 267 с.

14. **Mouritz A.P., Gibson A.G.** Fire Properties of Polymer Composite Materials // Springer, Dordrecht, The Netherlands. 2006. 398 p.

15. **Johnson J.D.** Non-destructive evaluation of aerospace composites /In: Report Air force institute of technology AFIT/GMS/ENP/09-M02, Department of the air force Air university, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio. 2009. 73 p.

16. **Lyon R.E.** Federal aviation administration research in fire safe materials for aircraft interiors /In: Proceedings of the International SAMPE Symposium, 41, (1996), Anaheim, CA, pp. 344-350.

17. **Postanovlenie Pravitelstva RF** от 05.12.2001 № 848 (ред. от 22.04.2010) «О Федеральной целевой программе «Развитие транспортной системы России (2010-2015 годы)». Подпрограмма «Гражданская авиация» Федеральной целевой программы «Развитие транспортной системы России (2010-2015 годы)».

18. **Shurkova E.N.** Sravnitel'naya otsenka pozharobezopasnosti PKM dlya izgotovleniya elementov vneshnego kontura aviatsionnoy tehniki / E.N. Shurkova, O.S. Volnyiy, A.N. Lutsenko, S.L. Barbotko // Pozharovzryvobezopasnost. - 2014. - Т. 23. - №2. - С. 20–27.

19. **Barbotko S.L.** Pozharnaya bezopasnost aviatsionnykh materialov obespechivaet bezopasnost poletov / S.L. Barbotko // Aviatsionnyye materialy i tehnologii. - 2012. - №5. - С. 431–439.

20. **Barbotko S.L., Shurkova E.N., Volnyiy O.S.** Otsenka pozharnoy bezopasnosti polimernykh kompozitsionnykh materialov dlya vneshnego kontura aviatsionnoy tehniki / S.L. Barbotko, E.N. Shurkova, O.S. Volnyiy //Авиационные материалы и технологии. - 2013. - №1. - С. 56–59.

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

22. **Barbotko S.L.** Vliyanie dlitel'nogo teplovogo vozdeystviya na pozharobezopasnost polimernykh materialov / S.L. Barbotko, M.S. Barbotko, O.S. Volnyiy, V.I. Postnov // Pozharovzryvobezopasnost. - 2014. - Т. 23. - №1. - С. 12–20.

23. **Skryil'Yov N.S.** Issledovanie vliyaniya teplovlazhnostnykh faktorov na izmenenie karakteristik pozharnoy bezopasnosti PKM, podverzhennykh klimaticheskim



ловлажностных факторов на изменение характеристик пожарной безопасности ПКМ, подверженных климатическим воздействиям / Н.С. Скрылёв, О.С. Вольный, Д.В. Абрамов, Е.Н. Шуркова // Труды ВИАМ. - 2014. - №7. - Ст. 12 (viam-works.ru)

24. **Burin, J.** Return of the killers //Aviation Safety World. 2006. V. 1. №1. P. 17–22.

25. **Попов, Ю.В.** Метод определения огнестойкости защитного накопителя бортового устройства регистрации / Ю.В. Попов //Обзорная информация: Проблемы безопасности полетов. - ВИНТИ. - 2006. - №4. - С. 49–59.

26. **Барботко, С.Л.** Пожарная опасность, методы оценки и требования к материалам для изготовления внешнего контура авиационной техники // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. - 2014. - №3 – С. 23-33.

27. **Quintiere, J.G., Walters, R.N., Crowley, S.** Flammability Properties of Aircraft Carbon-Fiber Structural Composite // FAA Report DOT/FAA/AR-07/57. 2007. 43 p.

28. **Hode, J.C.** Composite material fire fighting /In: The Sixth Triennial International Fire & Cabin Safety Research Conference. Atlantic City, New Jersey. 2010. 30 p.

29. **Horner, A.** Aircraft Materials Fire Test Handbook //FAA Report DOT/FAA/AR-00/12. 2000. P. 9-1 – 9-5.

30. **Полимерная теплоотражающая композиция для покрытия:** пат. 2467042 Рос. Федерация. опубл. 07.06.2011.

31. **Le Neve S.** Fire Behavior Of Structural Composite Materials (progress of the work) /In: The Sixth Triennial International Fire & Cabin Safety Research Conference Atlantic City, New Jersey. 2010. 39 p.

32. **Marker, T.R.** Burnthrough Overview /In: 5th Triennial International Fire and Cabin Safety Research Conference. 2007. 44 p.

33. **Лукина, Н.Ф., Дементьева, Л.А., Аниховская, Л.И.** Клеевые препреги для слоистых алюмокомпозитов класса СИАЛ / Н.Ф.Лукина, Л.А.Дементьева, Л.И. Аниховская // Труды ВИАМ. - 2014. - №1. - Ст. 05 (viam-works.ru).

34. **Антипов, В.В., Сенаторова, О.Г., Сидельников, В.В.** Исследование пожаростойкости слоистых гибридных алюмокомпозитов класса СИАЛ / В.В. Антипов, О.Г. Сенаторова, В.В. Сидельников // Авиационные материалы и технологии. - 2011. - №3. - С. 36-41.

35. **Walters R.N., Lyon R.E.** Flammability of Polymer Composites // FAA Report DOT/FAA/AR-08/18. 2008. 22 p.

36. **Lyon, R.E.** Nonhalogen Fire-Resistant Plastics for Aircraft Interiors // FAA Report DOT/FAA/AR-TN08/5. 2008. 33 p.

37. **Каблов, Е.Н.** Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года / Е.Н. Каблов //Авиационные материалы и технологии. - 2012. - №5. - С. 7–17.

38. **Шуркова, Е.Н.** Сопоставление пожаробезопасности ПКМ на основе клеевых препрегов, используемых для изготовления конструкций внешнего контура авиационной техники / Е.Н. Шуркова, С.Л. Барботко, Л.А. Дементьева, А.А. Серезженков // Клеи. Герметики. Технологии. - 2013. - №8. - С. 13–17.

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

40. **Давыдова, И.Ф., Каблов, Е.Н., Кавун, Н.С.** Термостойкие негорючие полиимидные стеклотекстолиты для изделий авиационной и ракетной техники / И.Ф. Давы-

vozdeystviyam / N.S. SkryilYov, O.S. Volnyiy, D.V. Abramov, E.N. Shurkova // Trudy VIAM. - 2014. - №7. - St. 12 (viam-works.ru)

24. **Burin J.** Return of the killers //Aviation Safety World. 2006. V. 1. №1. P. 17–22.

25. **Popov Yu.V.** Metod opredeleniya ognestoykosti zaschitnogo nakopitelya bortovogo ustroystva registratsii / Yu.V. Popov //Obzornaya informatsiya: Problemy bezopasnosti poletov. - VINITI. - 2006. - №4. - S. 49–59.

26. **Barbotko S.L.** Pozharnaya opasnost, metody otsenki i trebovaniya k materialam dlya izgotovleniya vneshnego kontura aviatsionnoy tekhniki // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii. - 2014. - №3 – S. 23-33.

27. **Quintiere J.G., Walters R.N., Crowley S.** Flammability Properties of Aircraft Carbon-Fiber Structural Composite //FAA Report DOT/FAA/AR-07/57. 2007. 43 p.

28. **Hode J.C.** Composite material fire fighting /In: The Sixth Triennial International Fire & Cabin Safety Research Conference. Atlantic City, New Jersey. 2010. 30 p.

29. **Horner A.** Aircraft Materials Fire Test Handbook //FAA Report DOT/FAA/AR-00/12. 2000. P. 9 1 – 9 5.

30. **Полимерная теплоотражающая композиция для покрытия:** пат. 2467042 Рос. Федерация. опубл. 07.06.2011.

31. **Le Neve S.** Fire Behavior Of Structural Composite Materials (progress of the work) /In: The Sixth Triennial International Fire & Cabin Safety Research Conference Atlantic City, New Jersey. 2010. 39 p.

32. **Marker T.R.** Burnthrough Overview /In: 5th Triennial International Fire and Cabin Safety Research Conference. 2007. 44 p.

33. **Lukina N.F., Dementeva L.A., Anihovskaya L.I.** Kleevyie prepregi dlya sloistyykh alyumostekloplastikov klassa SIAL / N.F.Lukina, L.A.Dementeva, L.I. Anihovskaya //Trudy VIAM. - 2014. - №1. - Ct. 05 (viam-works.ru).

34. **Antipov V.V., Senatorova O.G., Sidelnikov V.V.** Issledovanie pozharostoykosti sloistyykh gibridnykh alyumostekloplastikov klassa SIAL / V.V. Antipov, O.G. Senatorova, V.V. Sidelnikov // Aviatsionnyie materialyi i tehnologii. - 2011. - №3. - S. 36 41.

35. **Walters R.N., Lyon R.E.** Flammability of Polymer Composites // FAA Report DOT/FAA/AR-08/18. 2008. 22 p.

36. **Lyon R.E.** Nonhalogen Fire-Resistant Plastics for Aircraft Interiors // FAA Report DOT/FAA/AR-TN08/5. 2008. 33 p.

37. **Kablov E.N.** Strategicheskie napravleniya razvitiya materialov i tehnologiy ih pererabotki na period do 2030 goda / E.N. Kablov //Авиационные материалы и технологии. - 2012. - №5. - S. 7–17.

38. **Shurkova E.N.** Sopotavlenie pozharobezopasnosti PKM na osnove kleevykh prepregov, ispolzue-myih dlya izgotovleniya konstruksiy vneshnego kontura aviatsionnoy tekhniki / E.N. Shurkova, S.L. Barbotko, L.A. Dementeva, A.A. Serezhenkov // Klei. Germetiki. Tehnologii. - 2013. - №8. - S. 13–17.

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

40. **Davydova I.F., Kablov E.N., Kavun N.S.** Termostoykie negoryuchie poliimidnyie steklotekstolity dlya izdeliy aviatsionnoy i raketnoy tekhniki / I.F. Davydova, E.N. Kablov, N.S. Kavun // Vse materialyi. Entsiklopedicheskiy spravochnik. - 2009. - №7. - S. 2–11.

41. **Zhang H.** Fire-safe polymers and polymer composites // FAA Report DOT/FAA/AR-04/11. 2004. 209 p.

дова, Е.Н. Каблов, Н.С. Кавун // Все материалы. Энциклопедический справочник. - 2009. - №7. - С. 2–11.

41. **Zhang, H.** Fire-safe polymers and polymer composites // FAA Report DOT/FAA/AR-04/11. 2004. 209 p.

42. **Барботько, С.Л., Воробьев, В.Н.** Под общей редакцией академика РАН Е.Н. Каблова. Пожаробезопасность авиационных материалов и элементов конструкций. Справочник / С.Л. Барботько, В.Н. Воробьев. - М.: ВИАМ, 2007. - 543 с.

43. **Перельман, В.И.** Краткий справочник химика. Под общей ред. Б.В. Некрасова. / В.И. Перельман. - М., Л.: Химия. 1951. - 676 с.

44. **Полимерные материалы с пониженной горючестью** / Копылов В.В., Новиков С.Н., Оксентьевич Л.А. и др. - М.: Химия, 1986. - 224 с.

45. **Асеева, Р.М., Заиков, Г.Е.** Горение полимерных материалов / Р.М. Асеева, Г.Е. Заиков. - М.: Наука. 1981. - 280 с.

46. **Краткий справочник физико-химических величин** / Под ред. А.А. Равделя и А.М. Пономаревой. - Л.: Химия, 1983. - 232 с.

42. **Barbotko S.L., Vorobyov V.N.** Pod obschey redaktsiey akademika RAN E.N. Kablova. Pozharobezopasnost aviatsionnyih materialov i elementov konstruktsiy. Spravochnik / S.L. Barbotko, V.N. Vorobev. - M.: VIAM, 2007. - 543 s.

43. **Perelman V.I.** Kratkiy spravochnik himika. Pod obschey red. B.V. Nekrasova. / V.I. Perelman. - M., L.: Himiya. 1951. - 676 s.

44. **Polimernyye materialy s ponizhenoy goryuchestyu** / Kopyilov V.V., Novikov S.N., Oksentevich L.A. i dr. - M.: Himiya, 1986. - 224 s.

45. **Aseeva R.M., Zaikov G.E.** Gorenje polimernyih materialov / R.M. Aseeva, G.E. Zaikov. - M.: Nauka. 1981. - 280 s.

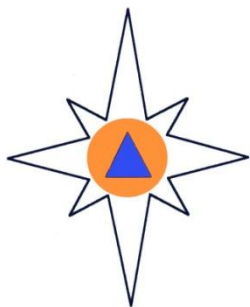
46. **Kratkiy spravochnik fiziko-himicheskikh velichin** / Pod. red. A.A. Ravdelya i A.M. Ponomarevoy. - L.: Himiya, 1983. - 232 s.

## FIRE DANGER, POSSIBLE METHODS OF ASSESSMENT AND REQUIREMENTS TO POLYMERIC MATERIALS FOR MANUFACTURING OF EXTERNAL CIRCUIT OF AVIATION TECHNICS

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

*According to manufacturing of transport aircrafts having high profitability and passengers capacity and increases of fire safety of aviation engineering, in world practice expansion of use of polymers as constructional materials are carried out. Questions of fire safety change for aviation engineering are considered in this article at replacement of external circuit from aluminum alloys coverings on coverings made from polymeric composite materials. Methods of assessment of fire safety for the constructional materials being on exterior surface of product and subject to influence of flame from fire of spread fuel are analyzed. It was shown that currently polymeric composite materials yet do not provide essential increase of fire safety: increase of resistance to through burn-out is leveled by ability to extend flame on surface.*

**Keywords:** fire safety, polymeric materials, RPM, aviation requirements, test methods, aircraft external circuit, composition fuselage.



## БЕЗОПАСНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ, ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

УДК 624.042.8(031)

### УЧЕТ ВЛИЯЮЩИХ ФАКТОРОВ ПРИ МОНИТОРИНГЕ СОСТОЯНИЯ ОСНОВАНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ С ЦЕЛЬЮ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

*Н.Н. Гусев, В.И. Яковлев, А.В. Бажухин*

*Рассматриваются влияющие факторы при проведении мониторинга изменения состояния строительных конструкций и грунтовых оснований зданий и сооружений. Обоснована необходимость учёта влияющих факторов при эталонировании объекта вибрационной диагностики.*

**Ключевые слова:** *безопасность конструкций зданий и сооружений, тестовая и функциональная вибрационная диагностика, мониторинг изменения состояния, влияющие факторы, эталонирование, диагностические признаки.*

ГОСТ 22.1.12-2005 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования» [1] устанавливает категории потенциально опасных объектов, зданий и сооружений, подлежащих оснащению структурированными системами мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений (СМИС). СМИС - построенная на базе программно-технических средств система, предназначенная для осуществления на указанных категориях объектов автоматического мониторинга систем инженерно-технического обеспечения, состояния основания строительных конструкций зданий и сооружений, технологических процессов, сооружений инженерной защиты и передачи в режиме реального времени информации об угрозе и

возникновении чрезвычайных ситуаций, в т.ч. вызванных террористическими актами, по каналам связи в органы повседневного управления единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций [1].

Подсистемой СМИС является система мониторинга инженерных (несущих) конструкций, опасных природных процессов и явлений (СМИК). Подсистема СМИК предназначена для осуществления в режиме реального времени контроля изменения состояния оснований строительных конструкций зданий и сооружений; сооружений инженерной защиты, зон схода селей, оползней, лавин в зоне строительства и эксплуатации объекта мониторинга с целью предупреждения чрезвычайных ситуаций.

Подсистема СМИК является средством получения объективной информации, обеспечивающей безопасность конструкций зданий и сооружений.

Подсистемы СМИК формируются на основе средств технической диагностики.

Согласно ГОСТ 20911-89 «Техническая диагностика. Термины и определения» [2] техническая диагностика - определение технического состояния объекта. Традиционно подсистемы СМИК формируются средствами тензометрической, геодезической и вибрационной диагностики.

В последнее время приоритет отдается средствам вибрационной диагностики как средствам, обеспечивающим максимальную оперативность.

**Гусев Николай Николаевич**, директор ООО «НПФ «Лидинг», доктор тех. наук, профессор. Россия, Санкт-Петербург, e-mail: goussev\_nn@mail.ru.

**Яковлев Владимир Иванович**, технический директор ООО «Промтехэксперт», начальник отдела экспертизы технических устройств ООО «НТЦ Экспертсервис». Россия, Санкт-Петербург, доктор тех. наук, профессор, e-mail: lubov\_y@mail.ru.

**Бажухин Александр Викторович**, инженер ООО «Промстандарт»; ассистент, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики. Россия, Санкт-Петербург, e-mail: bazhukhin@gmail.com.

Вибрационная диагностика включает в себя теорию, методы и средства обнаружения и поиска дефектов технической природы в объектах на основе анализа колебательных процессов в системах диагностирования. При этом характеристики исследуемого колебательного процесса, содержащие информацию о параметрах технического состояния объекта, принято называть *диагностическими признаками* дефектов. Под дефектом понимается любое несоответствие параметров и характеристик объекта заданным или требуемым значениям. Дефектом может быть и усталостная трещина, и изменение физико-механических свойств материала в процессе эксплуатации, и ряд других отклонений эксплуатационных характеристик объекта от нормативных значений.

В зависимости от характера объекта в основе процедуры вибрационного контроля может быть либо *функциональная диагностика*, либо *тестовая диагностика*.

*Функциональная* диагностика базируется на регистрации и анализе вибрационных сигналов, излучаемых объектом в процессе его эксплуатации.

*Тестовая* диагностика базируется на воздействии на объект контроля с помощью некоторого *стандартного вибрационного воздействия*, называемого *тестовым*. Параметры тестового воздействия специально подбираются так, чтобы, с одной стороны, повысить информативность и чувствительность диагностических признаков, а с другой стороны, не вызвать в диагностируемой системе необратимых изменений ее технического состояния. К тестовой диагностике прибегают в тех случаях, когда объект либо вовсе не излучает вибрацию в процессе функционирования, либо если регистрация и анализ вибрационных характеристик в эксплуатационном режиме затруднены. После выбора наиболее чувствительных диагностических признаков строится регрессионная модель, отражающая количественную взаимосвязь между величиной диагностического признака и параметрами технического состояния объекта.

Из теории колебаний механических систем известно [4-8], что собственные частоты колебаний  $\lambda_i$  всего сооружения в целом как жесткого тела на грунтовом основании и несущих конструкций –  $\lambda_j$  относительно опорных узлов этих конструкций являются функциями массы динамической системы  $M$  и ее жесткости  $C$ . Если в процессе эксплуатации здания (сооружения) параметры  $M$  и  $C$  остаются неизменными, то неизменными остаются и собственные частоты колебаний  $\lambda_i, \lambda_j$ .

В настоящее время диагностика технического состояния здания (сооружения) базируется на постулате, который гласит, что если в процессе эксплуатации здания (сооружения) изменяются (уменьшаются) собственные частоты колебаний  $\lambda_i$

и  $\lambda_j$ , то это означает, что произошло снижение жесткости  $C$  грунтового основания (по параметру  $\lambda_i$ ) или несущих конструкций (по параметру  $\lambda_j$ ) при условии, что масса строительного объекта и его несущих элементов  $M_{i,j}$  остается неизменной.

В свою очередь, снижение жесткости  $C$  является следствием изменения упругих и деформативных свойств грунтового основания и дефектов несущих конструкций, появившихся в процессе эксплуатации здания (сооружения).

Таким образом, смещение собственных (резонансных) частот колебаний  $\lambda_i, \lambda_j$  в спектрах Фурье  $G_B(\omega)$  вибрационных ускорений  $\ddot{v}(t)$  является объективным и информативным диагностическим признаком изменения состояния грунтовых оснований и появления дефектов в несущих конструкциях, что указывает на необходимость детального обследования этих конструкций визуальным осмотром и средствами неразрушающих методов контроля.

Указанный способ широко используется в практике диагностирования технического состояния зданий и сооружений. Однако одним из его принципиальных недостатков является необходимость *эталонирования* объекта перед началом эксплуатации, так как заключение о техническом состоянии объекта делается на основе сопоставления численных значений диагностических признаков, полученных в ходе испытаний (мониторинга), с их эталонными значениями, заранее полученными для бездефектной конструкции. В ряде случаев (например, для зданий и сооружений, давно находящихся в эксплуатации) за эталонное состояние принимается состояние, зафиксированное при предыдущем диагностировании. Такой подход снижает информативность метода и позволяет только выявить тенденцию изменения состояния относительно некоторого условного уровня, за который принято состояние, зафиксированное при предыдущем диагностировании.

Кроме того, при проведении вибрационной диагностики (как тестовой, так и функциональной) остро встает вопрос обеспечения одинаковых (эталонных) условий возбуждения колебаний конструкций или грунтового основания здания или сооружения, так как от этого зависят параметры колебаний, которые и являются диагностическими признаками состояния конструкций или грунтового основания. В противном случае сравнивать результаты не представляется возможным.

При всех различиях тестовой и функциональной вибрационной диагностики при их проведении необходимо обеспечить абсолютную идентичность не только условий возбуждения колебаний, но и условий проведения натурного эксперимента (мониторинга). Рассмотрим эти условия (или

влияющие факторы) и проанализируем их влияние на конечный результат.

#### *1. Температура окружающей среды*

Данный влияющий фактор определяет жесткость материалов конструкций, и, следовательно, и частоту колебания конструкции. Температурные напряжения изменяют жесткость конструкции, например, защемленных балок или плит покрытия (перекрытий). При смерзании сооружения с грунтовым основанием увеличивается присоединенная масса, участвующая в колебании сооружения, что также влияет на частоту колебания сооружения в целом.

Влияние данного фактора особенно чувствительно в регионах с резко-континентальным климатом.

#### *2. Влажность (или водонасыщенность) конструкций*

Данный влияющий фактор, кроме увеличения массы, также часто определяет жесткость материалов конструкций (например, замерзание влаги, пропитавшей утеплитель). Водонасыщение грунтового основания приводит к изменению работы системы «сооружение – грунтовое основание», что приводит к изменению частоты колебаний данной системы. От влажности снега зависит значение снеговой нагрузки на здание или сооружение и т.д.

#### *3. Схема загрузки сооружения эксплуатационными нагрузками*

По данным СП 20-13330-2010 «Нагрузки и воздействия» [9] различаются постоянные и временные (длительные, кратковременные и особые) нагрузки и воздействия, которые могут меняться от одного цикла диагностики к другому, при этом в определенные моменты могут иметь неблагоприятные сочетания. Естественно, что схема загрузки будет меняться при перераспределении материалов по площадям складов, заполнении и опорожнении резервуаров, перемещении грузоподъемных и транспортных средств на промышленных предприятиях. Для спортивных и зрелищных сооружений схема загрузки будет меняться в соответствии с заполняемостью спортивных залов и стадионов, эффекта «бегущей волны» и т. д. Т.е. масса объекта и ее распределение по объему объекта может меняться.

#### *4. Внешний фон вибраций*

В городской черте, как правило, это вибрации от динамических воздействий городского транспорта, в промышленных зонах – от технологического оборудования, а также от транспорта, в том числе железнодорожного. Указанные воздействия в определенных условиях могут использоваться для возбуждения колебаний при функциональной диагностике. В отдельных случаях параметры фоновых вибраций соизмеримы с параметрами вибраций от тестовых возбуждений колебаний.

#### *5. Метеоусловия (осадки, ветер, облачность)*

Осадки и ветер не требуют специальных комментариев. А облачность, в том числе нижняя граница облаков, существенно влияет на параметры импульса возбуждения в виде взрывной волны, что иногда используется в практике диагностики состояния зданий и сооружений, расположенных вблизи карьеров [11-13]. Известны случаи, когда амплитуда возрастала в несколько раз.

#### *6. Гидрогеологические условия*

Этот влияющий фактор связан с сезонными колебаниями уровня грунтовых вод и обусловлен изменением модуля упругости грунтового основания при его водонасыщении, а также с объемом присоединенной массы грунта участвующей в колебании системы «сооружение - грунтовое основание».

#### *7. Параметры импульсов возбуждения колебаний*

Параметры импульсов возбуждения (амплитуда, длительность, длительность фронтов (или форма импульсов), частота, точка приложения и направление) определяющим образом влияют на амплитуду колебаний конструкций, состав гармоник и скорость затухания колебаний, а порой и на частоту колебаний. При определенных условиях, например, при длительности импульса возбуждения, равной периоду собственных колебаний конструкции, или попадании импульса возбуждения в противофазе с колебаниями конструкций, колебания могут вообще не возбудиться или затухнуть. Тем не менее, в нормативных документах параметры возбуждающих воздействий и способы их задания не регламентированы и имеют чисто описательный характер. Так, в СП 79.13330-2012 «Мосты и трубы. Правила обследования и испытаний» [10] можно найти такие указания: «Для определения динамических характеристик сооружений следует использовать подвижные, ударные, вибрационные, ветровые и другие нагрузки, способные вызвать появление устойчивых колебаний (в том числе свободных)» или «при динамических испытаниях пешеходных мостов возбуждение собственных колебаний конструкций следует производить посредством раскочки, сбрасывания грузов, движения (ходьбы и бега) по мосту отдельных пешеходов или групп их и т.д.». В этом же нормативном документе можно встретить такие указания: «Возмущающие динамические силы в виде периодически повторяющихся импульсов могут быть созданы посредством проезда двухосного автомобиля по порожкам (доскам, уложенным поперек проезда), удаленным один от другого на расстояния, равные колесной базе автомобиля». В ГОСТ 22.1.12 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования» [1] и ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» [3] параметры импульсов возбуждения вообще не рассматриваются.

### 8. Параметры эксплуатационной среды средств измерения

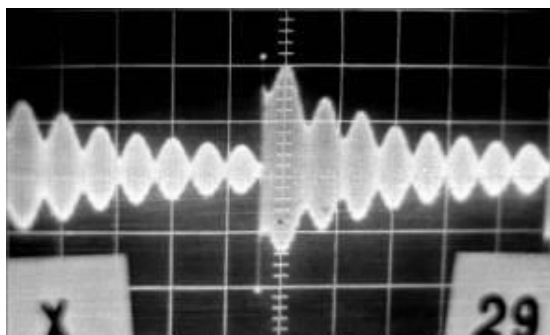
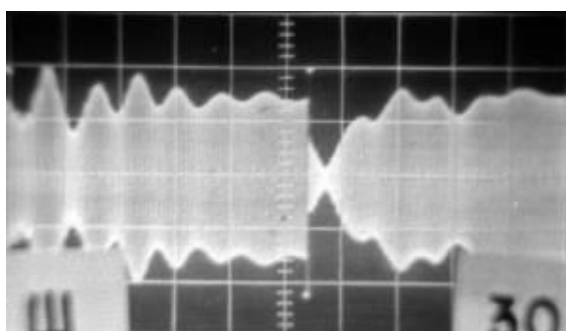
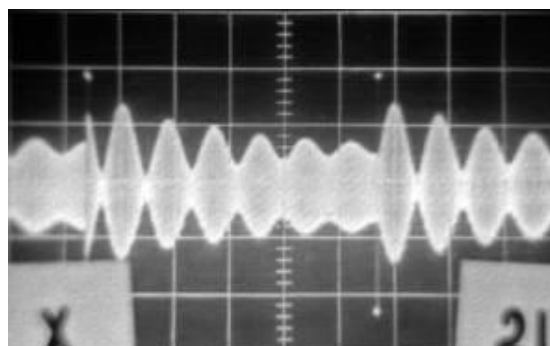
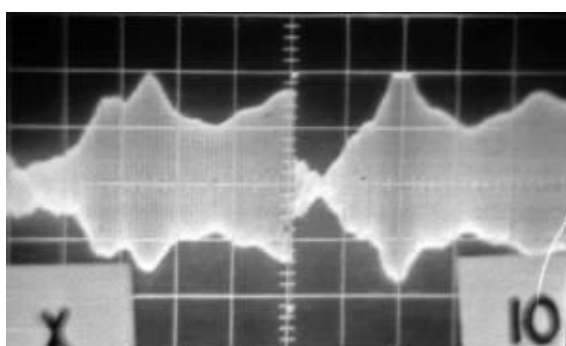
Любое средство измерения имеет погрешность, значение которой напрямую связано с условиями эксплуатации (температурой и влажностью воздуха, атмосферным давлением). Пределы этой погрешности (допускаемой основной относительной погрешности) определены в паспортах на средства измерения, а сами средства измерения периодически поверяются. Однако в состав средств диагностики кроме первичных преобразователей и вторичной аппаратуры входит кабельная сеть, обладающая определенными параметрами (сопротивлением, емкостью и индуктивностью), значения которых зависят от параметров окружающей среды и срока службы сети. Эта зависимость особенно проявляется при передаче аналоговых сигналов, так

как вызывает искажения передаваемого сигнала, что выражается в падении амплитуды, сдвиге фазы и размывании фронтов. При этом приходится учитывать наличие и уровень электрических помех.

Необходимо учесть, что перечисленные факторы часто имеют взаимное влияние и не могут рассматриваться обособленно от других.

Отдельные факторы поддаются корректировке от цикла к циклу диагностики (например, положение грузоподъемных и транспортных средств), а некоторые нет (например, гидрогеологические и метеорологические условия).

На рис. 1-4 представлены экспериментальные данные, полученные авторами при оценке влияния фоновых вибраций на выходной сигнал комплекта тензометрической диагностики подсистемы СМИК.



**Рис. 1-4.** Влияния фоновых вибраций на выходной сигнал комплекта тензометрической диагностики подсистемы СМИК.

Подсистема СМИК, предназначенная для осуществления в режиме реального времени контроля изменения состояния оснований, строительных конструкций зданий и сооружений, с целью предупреждения чрезвычайных ситуаций, должна точно также в режиме реального времени производить учет изменения влияющих факторов. В противном случае исходные данные, на основе кото-

рых формируется вывод о безопасности объекта защиты, утратят свою достоверность. Такая коррекция исходных данных с целью устранения их искажения под действием рассмотренных влияющих факторов должна быть обеспечена средствами программно-методического обеспечения подсистемы.

**Библиографический список**

1. **ГОСТ 22.1.12-2005** Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования. - введ. 01.01.2005. - Москва: Изд-во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ». 2005. - 14 с.
2. **ГОСТ 20911-89**. Техническая диагностика. Термины и определения. - Взамен ГОСТ 20911-75; введ. 01.01.91. - Москва: Изд-во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ». 2009. - 11 с.
3. **ГОСТ 31937 - 2011** Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. - Взамен ГОСТ Р 53778-2010; введ. 01.01.2014. - Москва: Изд-во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ». 2014. - 55 с.
4. **Бидерман, В.Л.** Теория механических колебаний / В.Л. Бидерман. - Москва: Высшая школа, 1980. - 408 с.
5. **Биргер, И.А.** Техническая диагностика / И.А. Биргер. - Москва: Машиностроение, 1978. - 240 с.
6. **Болотин, В.В.** Прогнозирование ресурса машин и конструкций / В.В. Болотин. - Москва: Машиностроение, 1984. - 312 с.
7. **Вибрации в технике:** Справочник. В 6-ти томах / Ред. совет: В. Н. Челомей (пред.). - Том 5. Измерения и испытания / Под ред. М. Д. Генкина. - Москва: Машиностроение, 1981. - 496 с.
8. **Магнус, К.** Колебания: Введение в исследование колебательных систем / К. Магнус. - М.: Мир, 1982. - 304 с.
9. **СП 20.13330-2010** Нагрузки и воздействия состояния. - Взамен СНиП 2.01.07-85 Нагрузки и воздействия; введ. 01.01.2011. - Москва: Изд-во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ». 2014. - 96 с.
10. **СП 79.13330-2012** Мосты и трубы. Правила обследования и испытаний. - Взамен СНиП 3.06.07-86; введ. 01.01.2013. - Москва: Изд-во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ». 2014. - 36 с.
11. **Гриб, Н.Н., Пазынич, А.Ю.** Анализ сейсмических эффектов от массовых взрывов разреза «Нерюнгинский» / Н.Н. Гриб, А.Ю.Пазынич // Современные проблемы науки и образования. - 2010. - № 1 - С. 71-76.
12. **Цейтлин, Я.И.** Сейсмические и ударные воздушные волны промышленных взрывов / Я.И. Цейтлин, Н.И. Смолий. - М.: Недра, 1981. - 192 с.
13. **Черных, Е.Н.** Текущий контроль состояния сооружений и технологического оборудования при проведении взрывных работ в условиях действующего производства / Е.Н. Черных, В.А. Павленов, В.В. Чечельницкий, Г.Н. Масленникова. // Город: прошлое, настоящее, будущее. - Иркутск, 2000. - С. 102-105.

**References**

1. **GOST 22.1.12-2005** Bezopasnost v chrezvychaynykh situatsiyah. Strukturirovannaya sistema monitoringa i upravleniya inzhenernyimi sistemami zdaniy i sooruzheniy. Obschie trebovaniya. - vved. 01.01.2005. - Moskva: Izd-vo FGUP «STANDARTINFORM». 2005. - 14 s.
2. **GOST 20911-89**. Tehnicheskaya diagnostika. Terminy i opredeleniya. - Vzamen GOST 20911-75; vved. 01.01.91. - Moskva: Izd-vo FGUP «STANDARTINFORM». 2009. - 11 s.
3. **GOST 31937 - 2011** Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tehničeskogo sostoyaniya. - Vzamen GOST R 53778-2010; vved. 01.01.2014. - Moskva: Izd-vo FGUP «STANDARTINFORM». 2014. - 55 s.
4. **Biderman V.L.** Teoriya mehanicheskikh kolebaniy / V.L. Biderman. - Moskva: Vysshaya shkola, 1980. - 408 s.
5. **Birger I.A.** Tehnicheskaya diagnostika / I.A. Birger. - Moskva: Mashinostroenie, 1978. - 240 s.
6. **Bolotin V.V.** Prognozirovanie resursa mashin i konstruktсий / V.V. Bolotin. - Moskva: Mashinostroenie, 1984. - 312 s.
7. **Vibratsii v tehnikе:** Spravochnik. V 6-ti tomah / Red. sovet: V. N. Chelomey (pred.). - Tom 5. Izmereniya i ispytaniya / Pod red. M. D. Genkina. - Moskva: Mashinostroenie, 1981. - 496 s.
8. **Magnus K.** Kolebaniya: Vvedenie v issledovanie kolebatelnykh sistem / K. Magnus. - M.: Mir, 1982. - 304 s.
9. **SP 20.13330-2010** Nagruzki i vozdeystviya sostoyaniya. - Vzamen SNiP 2.01.07-85 Nagruzki i vozdeystviya; vved. 01.01.2011. - Moskva: Izd-vo FGUP «STANDARTINFORM». 2014. - 96 s.
10. **SP 79.13330-2012** Mostyi i trubyi. Pravila obsledovaniya i ispytaniy. - Vzamen SNiP 3.06.07-86; vved. 01.01.2013. - Moskva: Izd-vo FGUP «STANDARTINFORM». 2014. - 36 s.
11. **Grib N.N.** Analiz seysmicheskikh effektov ot massovykh vzryivov v razreza «Neryunginskiy» / N.N. Grib, A.Yu.Pazyinich // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. - 2010. - № 1 - S. 71-76.
12. **Tseytlin Ya.I.** Seysmicheskie i udarnyye vozdushnyye volny promyshlennyykh vzryivov / Ya.I. Tseytlin, N.I. Smoliy. - M.: Nedra, 1981. - 192 s.
13. **Chernyyh E.N.** Tekuschiy kontrol so-stoyaniya sooruzheniy i tehnologicheskogo oborudovaniya pri provedenii vzryivnykh rabot v usloviyah deystvuyushchego proizvodstva / E.N. Chernyyh, V.A. Pavlenov, V.V. Chechelnickey, G.N. Maslenikova. // Gorod: proshloe, nastoyaschee, budushee. - Irkutsk, 2000. - S. 102-105.

**ACCOUNTING INFLUENCING FACTORS IN MONITORING OF GROUND FOUNDATIONS, BUILDING CONSTRUCTIONS OF BUILDINGS AND STRUCTURES FOR THE PURPOSE OF PREVENTION OF EMERGENCIES**

**Nikolai N. Goussev**, D. Sc. in Engineering, Prof.,

Russia, Saint-Petersburg

e-mail: goussev\_nn@mail.ru.

**Vladimir I. Yakovlev**, D. Sc. in Engineering, Prof.

Russia, Saint-Petersburg

lubov\_y@mail.ru.

**Aleksandr V. Bazhukhin.**

Russia, Saint-Petersburg

bazhukhin@gmail.com.

*Influencing factors are considered in state changes monitoring of building structures and ground foundations of buildings and structures. Grounded the necessity of taking into account the influencing factors in calibration object of vibration diagnostics.*

**Keywords:** *safety of buildings and structures, functional and test vibration diagnostics, monitoring state changes, influencing factors, calibration, diagnostic features.*

---



## МЕТОД АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ НА ОСНОВЕ ИНВАРИАНТОВ В ОЦЕНКЕ ПРОЧНОСТИ СПЕЦИАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ТЕХНИКИ

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

*Предложена высокоэффективная методика оценка прочности силовых элементов конструкций ответственного назначения вне зависимости от их предыстории эксплуатации, формы и размеров, что достижимо с использованием метода инвариантов, основанного на определении степени отклонения распределений параметров сигналов акустико-эмиссионных процессов при деформировании.*

**Ключевые слова:** *дефекты, разрушение, метод акустической эмиссии, инварианты, распределения параметров.*

При определении эксплуатационной пригодности конструкций вооружения и военной техники (ВВТ), особенно эксплуатирующихся продолжительное время, актуальной проблемой является разработка методов определения прочностных характеристик их силовых элементов вне зависимости от предыстории эксплуатации, формы и размеров.

Из неразрушающих методов, используемых для контроля прочности конструкций ответственного назначения ВВТ, особое место занимает метод акустической эмиссии (АЭ), который позволяет обнаруживать развивающиеся в конструкции дефекты, оценивать их размеры, устанавливать степень опасности, прогнозировать разрушающую нагрузку и ресурс конструкции.

Анализ существующих неразрушающих методов определения показывает, что большинство методов основано на сканировании поверхности и подповерхностных слоев материала деталей, но в этом случае дефекты не ранжируются по степени опасности и структуре материала.

---

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

**Старов Виталий Николаевич**, доктор тех. наук, профессор, Воронежский институт ГПС МЧС России; Россия, г. Воронеж, e-mail: vigps\_onirio@mail.ru

**Смоленцев Евгений Владиславович**, доктор тех. наук, профессор, Воронежский государственный технический университет; Россия, г. Воронеж, тел.: (473)246-27-72

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

---

© Зибров Г.В., Старов В.Н., Смоленцев Е.В., Попов А. В., 2014

Статистика отказов силовых элементов конструкций и ВВТ показывает, что наиболее частым техническим отказом системы являются разрушения, связанные с зарождением и развитием трещин в ответственных деталях. Для определения прочностных характеристик ответственных конструкций необходимо оценивать кинетику накопления и развития дефектов. Это позволяет обеспечить достоверную оценку прочности уникальных конструкций военной и специальной техники по фактическому состоянию.

Метод АЭ обладает широкой возможностью регистрации сигналов, обработки и анализа акустических процессов, несущих информацию об опасных за счет развивающихся дефектах в силовых элементах, что позволяет делать выводы о прочности и ресурсе сложных конструкций и нагруженных деталей.

Анализ используемых на практике акустико-эмиссионных критериев оценки прочности конструкций показал, что почти все они не имеют чётких и однозначных критериальных значений, характеризующих стадии деформирования материалов. Большинство методов зависят от предыстории эксплуатации, формы и размеров конструкции, механических шумов.

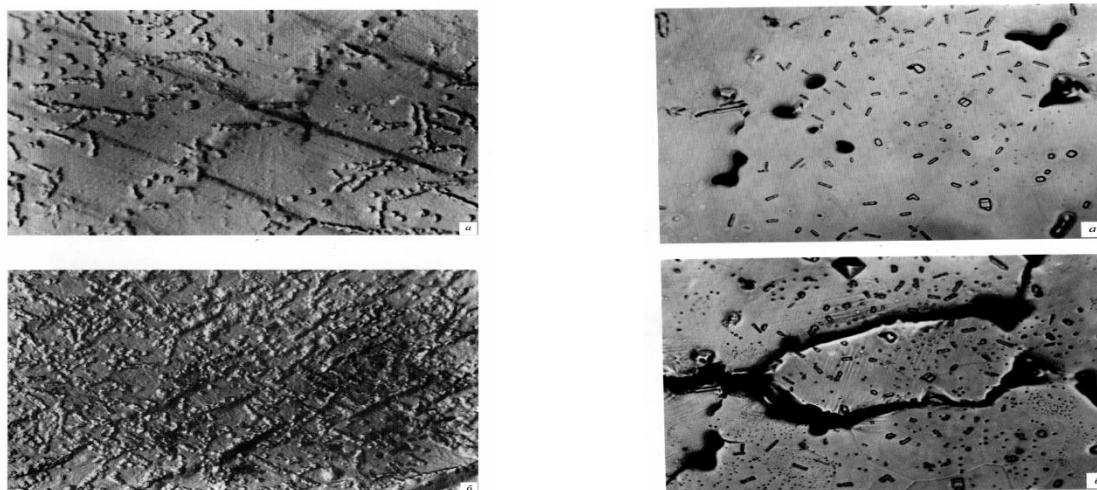
Рассмотрим разработанные акустико-эмиссионные методы оценки прочностных характеристик силовых конструкций ВВТ на основе параметрических и функциональных инвариантов пуассоновских процессов.

Из работ [1-6] следует, что на ранних стадиях деформирования поток сигналов акустической эмиссии от микродефектов, случайным образом распределенных по объему конструкции, имеет пуассоновский характер, например, как это показано на рис. 1.

Исследования показывают, что с ростом нагрузки объединение микродефектов в трещину и ее последующее развитие нарушает распределение Пуассона. Авторы данной работы предлагают новый подход к определению прочностных характеристик силовых элементов, который основан на

оценке изменения распределений числа актов АЭ на фиксированных интервалах времени в процессе

деформирования конструкций.



а) б)

**Рис. 1.** Развитие дефектов при нагревании и растяжении металла.

а) исходное состояние сплава при поставке,  $t = 20^{\circ}\text{C}$  и размножение и слияние дефектов при  $t = 500^{\circ}\text{C}$ ,  
 б) исходное состояние сплава при поставке,  $\varepsilon = 0$  и размножение и слияние дефектов при  $\varepsilon = 15\%$ .

Из известного фундаментального соотношения для пуассоновского распределения между математическим ожиданием  $M[n]$  и дисперсией числа актов АЭ  $D[n]$  в интервале  $T$  можно записать выражение  $M[n]=D[n]$ , следовательно, можно записать следующее соотношение:

$$M[n^2] = \{M[n]\}^2 + D[n] = \{M[n]\}^2 + M[n].$$

Используя эти соотношения, строят инварианты, справедливые только для пуассоновского процесса, и на этой основе оценивают отклонение анализируемого процесса от пуассоновского. Таким образом получены инварианты:

$$J_1 = M[n^2] - M[n] - M^2[n] = 0 \quad (1)$$

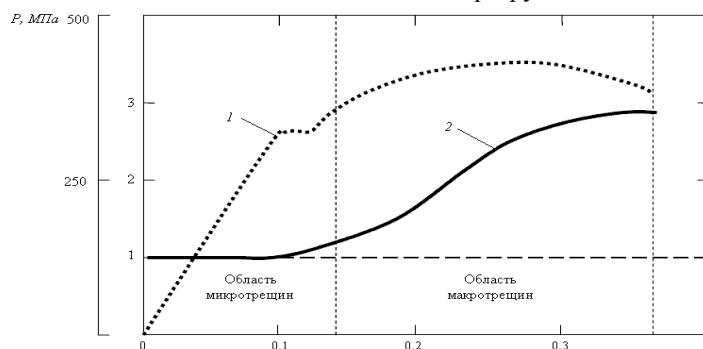
$$J_2 = \frac{M[n^2]}{M[n]} - M[n] = 1 \quad (2)$$

$$J^* = \frac{M[n^2]}{m^2[n] + M[n]} = 1 \quad (3)$$

В исследованиях проведен анализ и сделаны выводы о чувствительности каждого из инвариантов к изменению стадий разрушения материалов конструкций при деформировании.

На основе полученных инвариантов ф.(1-3) разработаны и запатентованы способы оценки процессов разрушения конструкций при акустико-эмиссионном контроле [5, 6].

На рисунке 2, где пунктирной кривой (1) отображена зависимость деформирования, кривой (2) - инвариант  $J_2$ , показаны результаты взаимосвязи значений деформации и инварианта при нагружении конструкции силового элемента из стали 20 до разрушения.



**Рис. 2.** 1 – кривая деформирования, кривая 2 – инвариант  $J_2$ , 35 – я секунда ( $\varepsilon = 0.13$ ) начало образования макротрещин.

В работах [7,8] представлены особенности метода оценки прочности силовых элементов

конструкций ВВТ при использовании инвариантов временных интервалов импульсов АЭ.

Исследование параметров плотности вероятности временных интервалов между актами АЭ несёт существенную информацию о кинетике повреждений структуры материала конструкций. Знание кинетики накопления повреждений позволяет определить долговечность изделий и прогнозировать поведение сложных механических систем в условиях эксплуатации.

Исследуем второй начальный момент для случайной величины  $\tau$ , являющейся временными интервалами между соседними событиями пуассоновского потока.

$$M[\tau^2] = M^2[\tau] + D[\tau] \quad (4)$$

где  $M[\tau]$  и  $D[\tau]$  математическое ожидание и дисперсия случайной величины  $\tau$  соответственно.

Из известных соотношений следует, что математическое ожидание и дисперсия для  $\dot{N}_a$  определяются соотношением являющееся инвариантом для пуассоновского потока. Если поток является пуассоновским, то

$$M[\tau] = \frac{1}{M[n]}, \quad (5)$$

$$D[\tau] = \frac{1}{M[n]^2}$$

где  $M[n]$  - интенсивность потока.

Если провести действие деления ф.(5) на  $M^2[\tau]$ , то получаем инвариант  $J_3$ , основанный на характерных свойствах пуассоновского потока – ординарности и отсутствии последствия:

$$J_3 = 1 + \frac{D[\tau]}{M^2[\tau]} = \frac{M[\tau^2]}{M^2[\tau]} = 2 \quad (6)$$

Соотношение ф.(6) позволяет построить инварианты, справедливые только для пуассоновского процесса и на этой основе оценивать отклонение анализируемого процесса от пуассоновского.

Рассмотрим метод оценки прочностных характеристик силовых элементов конструкций ВВТ на основе инвариантов для «прореженных» потоков АЭ.

Один из подходов к оценке «разладки» акустико-эмиссионных потоков основан на использовании «прореженных» потоков или потоков Эрланга [2,3]. С этой целью исходный поток актов АЭ прореживается с порядками  $k_1$  и  $k_2$ .

Выбор значений  $k$  определяется свойствами исходного потока, в частности интенсивностью, при этом необходимо учитывать, что  $k \leq 10$ . Это объясняется тем, что при увеличении  $k$  распре-

ление  $\tau_k$  в простейшем потоке будет стремиться к нормальному.

Рассмотрим поток Эрланга  $k$ -го порядка. Для этого процесса получим:

$$M[\tau^{(k)}] = \frac{k}{\dot{N}_a}, \quad D[\tau^{(k)}] = \frac{k}{\dot{N}_a^2}, \quad (7)$$

где  $D[\tau^{(k)}]$  - дисперсия интервала времени между соседними событиями  $\tau^{(k)}$  в потоке  $k$ -го порядка. Второй начальный момент  $\tau^{(k)}$  для этого процесса равен

$$M[\tau^{(k)}]^2 = \{M[\tau^{(k)}]\}^2 + D[\tau^{(k)}] = \frac{k \cdot (k+1)}{\dot{N}_a^2} \quad (8)$$

Формула (8) справедлива для простейшего потока, для которого вероятностные характеристики  $i$  и  $i-1$  акта независимы.

Поэтому отношение вторых начальных моментов случайной величины  $\tau^{(k)}$  для потоков Эрланга различных порядков  $k_1$  и  $k_2$  определяется соотношением

$$I_3 = \frac{M[\tau^{(k_1)}]^2}{M[\tau^{(k_2)}]^2} = \frac{k_1 \cdot (k_1 + 1)}{k_2 \cdot (k_2 + 1)} \quad (9)$$

Если  $k_1=1$  (исходный поток), то

$$I_3 = \frac{M[\tau^{(1)}]^2}{M[\tau^{(k)}]^2} = \frac{2}{k(k+1)} \quad (10)$$

Справедливо также выражение

$$I_k = \frac{M[\tau_k^2]}{M^2[\tau_k]} = 1 + \frac{D[\tau_k]}{M^2[\tau_k]} =$$

$$= 1 + \frac{k \cdot M^2[\tau]}{k^2 \cdot M^2[\tau]} = \frac{k+1}{k}$$

$$\text{получаем } I^* = \left| \frac{M[\tau_k^2]}{M^2[\tau_k]} - \frac{k+1}{k} \right| = 0.$$

По истечении очередного интервала выборки длительностью  $T$  находится отношение статистических оценок для первого и второго начальных моментов случайных величин  $\tau$  и  $\dot{N}_a$ , оценок вторых начальных моментов интервалов времени между соседними событиями для рассмотренных потоков Эрланга и сравнивается с ранее рассчитанной величиной в правой части равенств ф.(9, 10). Если эти равенства выполняются с заданной доверительной вероятностью, то «разладки» процесса нет.

В том случае, когда деформация приводит к объединению микроисточников в макродефект с

последующим его развитием, вероятностные характеристики актов АЭ становятся зависимыми. Объединение микроисточников актов АЭ в макродефект и его последующее развитие разрушают гипотезу пуассоновского потока и приводят к нарушению равенств ф.(9, 10). Этот факт «разладки» процесса можно использовать для получения информации о кинетике развития структурных дефектов в изделии, что позволяет делать выводы о степени опасности развивающихся дефектов.

Использование соотношений ф. (9, 10) для определения степени опасности развивающихся дефектов предполагает определение оценок для первого и второго начальных моментов случайных величин  $\tau$  и  $N$  в процессе контроля изделия, а также вторых начальных моментов  $M^*[\tau^{(k_1)}]^2$  и  $M^*[\tau^{(k_2)}]^2$  которые определяются на следующих друг за другом интервалах времени длительностью  $T$ .

Здесь величина  $T$  зависит от интенсивности процесса (необходимо иметь выборку достаточного объёма, чтобы обеспечить приемлемую точность статистических оценок) и от скорости изменения вероятностных характеристик процесса АЭ вследствие роста деформации (для уменьшения ошибок при определении оценок  $\tau$ ,  $N$ ,  $M^*[\tau^{(k_1)}]^2$  и  $M^*[\tau^{(k_2)}]^2$ ). Необходимо, чтобы нестационарность процесса сказывалась незначительно, или использовать известные алгоритмы, например «скользящего среднего».

Проведена экспериментальная проверка справедливости сделанных теоретических выводов. Для этого были проведены исследования по разрушению цилиндрических образцов из стали 40 и плоских образцов Д16. Выбор этого типа образцов обусловлен широким распространением сталей, имеющих площадку текучести и сплавов на основе алюминия в силовых элементах конструкций.

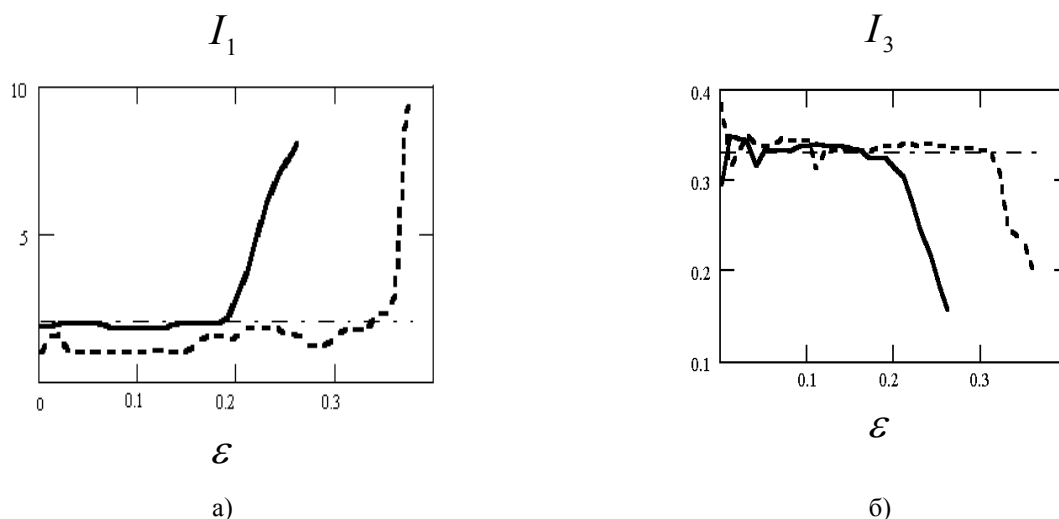


Рис. 3. График зависимости инвариантов от времени при постоянной скорости деформации образцов до разрушения.

а) инвариант  $I_1$ ; б) инвариант  $I_3$  для  $k_1 = 1$ ,  $k_2 = 2$ ; сплошная линия - сплав Д16; пунктирная – сталь 40;

20 – я секунда ( $\epsilon = 0.2$ ) образование макротрещины в образце Д16;

30 – я секунда ( $\epsilon = 0.3$ ) образование макротрещины в образце Ст.40.

Исследуемым материалам свойственна высокая акустическая активность на площадке текучести (лавинное возрастание плотности подвижных дислокаций) и перед разрушением (образование магистральной трещины). На рисунке 3 показано изменение инвариантов в процессе деформирования для этих материалов. Характерное увеличение «разладки» для этих образцов наблюдается при образовании и развитии магистральной трещины, что не всегда сопровождается возрастанием интенсивности и амплитуды сигналов. Справедливость применения инвариантов подтверждается данными металлографии.

Разработанный авторами подход даёт возможность достоверной оценки в процессе контроля динамики и степени изменения распределений информативных параметров эмиссии, характеризующих степень предразрушающего состояния конструкции.

Оценка с помощью приведённых соотношений позволяет высокоэффективно проводить оценку как исходных, так и «прореженные» АЭ потоки любого порядка, причем она не зависит от предистории нагружения конструкции, что даёт возможность осуществлять постоянный и периодический АЭ контроль.

Исследуем особенности применения метода функциональных инвариантов АЭ процессов в задачах оценки прочностных характеристик ответственных силовых элементов конструкций ВВТ.

В отличие от инвариантов, предложенных ранее и основанных на обработке случайного количества импульсов АЭ, предлагается иной подход, который предполагает обработку амплитудной информации, что дает ему целый ряд преимуществ. Рассмотрим это.

Сигнал датчика АЭ может быть аппроксимирован выражением  $x(t) = \sum_{k=1}^{\infty} a_k S(t-t_k)$ , где  $S(t)$  – форма импульса датчика,  $a_k$  – случайная величина с конечной дисперсией,  $t_k$  – случайные моменты времени.

Когда случайные моменты  $t_k$  определяются пуассоновским процессом с интенсивностью  $\lambda$ , дисперсия и математическое ожидание процесса определяются выражениями

$$D_x = \lambda M[a_k^2] \int_{-\infty}^{+\infty} S^2(t) dt \quad \text{и}$$

$$M[x(t)] = \lambda M[a_k] \int_{-\infty}^{+\infty} S(t) dt = m_x.$$

Отношение

$$J_\phi = \frac{D_x}{m_x} = \frac{M[a_k^2] \int_{-\infty}^{+\infty} S^2(t) dt}{M[a_k] \int_{-\infty}^{+\infty} S(t) dt} \quad (11)$$

не зависит от интенсивности потока  $\lambda$ , а является константой, зависящей только от формы реакции датчика на импульс АЭ, определяющейся его конструкцией.

Соотношение ф.(11) назовем функциональным инвариантом, основываясь на экспериментально проверенном факте практически линейной зависимости  $J_\phi$  от степени деформирования в зоне пуассоновского распределения моментов времени  $t_k$ .

Возможность определения факта выхода распределения моментов времени  $t_k$  из зоны пуассоновского распределения при нагружении образца на основе (11) проверялась экспериментально следующим образом.

Результаты обработки экспериментальных данных согласно вышеприведенным алгоритмам и известным АЭ критериям представлены на рисунке 4. Наглядно видно характерное отклонение инвариантов от устойчивых значений при образовании магистральных трещин.

Для одного и того же процесса АЭ вычислялась величина инварианта  $J$ , который определяется соотношением  $J_\tau = \frac{M[\tau^2]}{\{M[\tau]\}^2}$ , для пуассоновского

распределения моментов  $t_k$   $J = 2$ , где  $\tau$  – случайные интервалы между импульсами АЭ, и подсчитывалась величина  $J_\phi$ .

Как видно из рисунка 4, кривая критерия  $J_\tau$  пуассоновского распределения моментов времени  $t_k$  и график  $J_\phi$  выделяют практически одну и ту же зону, за которой начинается существенный рост  $J_\phi$ . Достоверность данного вывода подчеркивается тем, что критерий  $J_\tau$  оперирует с временными характеристиками импульсной последовательности, а  $J_\phi$  определяется на основе анализа амплитудных соотношений.

Для подтверждения возможности практического использования полученных теоретических положений разработан опытный образец АЭ системы определения прочностных характеристик конструкций на основе функциональных и параметрических инвариантов акустико-эмиссионных процессов, методика экспериментальных исследований, устройства для моделирования, и проведены экспериментальные исследования по изучению связи статистических закономерностей АЭ процессов с процессами разрушения конструкций.

Таким образом, установлено, что на ранних стадиях деформирования поток сигналов акустической эмиссии от микроисточников, случайным образом распределенных по объему конструкции, имеет пуассоновский характер.

С ростом нагрузки объединение микродефектов в трещину и ее последующее развитие нарушает распределение Пуассона.

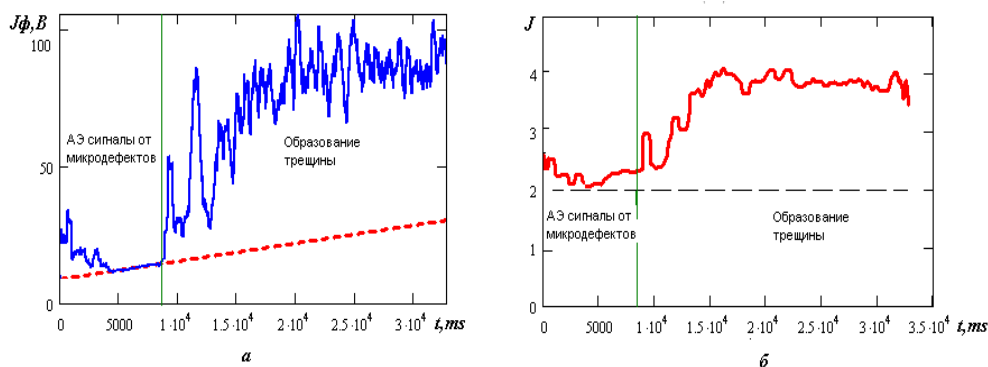


Рис. 4. Изменение  $J_{\phi}$  (рис. а) и  $J_{\tau}$  (рис. б) при деформировании до разрушения плоского образца сечения

( $3 \times 30$  мм) из стали 3. а) сплошной линией показан график  $J_{\phi}$ , и пунктирной линией график  $J_{\phi_n}$

(при  $A_0 = 8,8$  и  $A_1 = 6,6 \times 10^{-4}$ ).

В связи с тем, что форма статистических распределений информативных параметров АЭ не зависит от амплитуды и интенсивности сигналов, а определяется только физикой процессов происходящих в материале конструкции при деформировании, значения инвариантов не зависят от формы, предыстории эксплуатации и размеров конструкции.

Проведено определение прочностных характеристик силовых элементов конструкций ВВТ вне зависимости от их предыстории эксплуатации, формы и размеров, что достижимо с использованием метода параметрических инвариантов, основанного на определении степени отклонения («разладки») распределений численно-временных характеристик АЭ процессов при деформировании.

Авторами предложены методики достоверного определения прочностных характеристик силовых элементов конструкций ВВТ, работающих

вне зависимости от их предыстории эксплуатации, формы и размеров, что возможно при использовании метода оценки прочности силовых элементов конструкций на основе инвариантов для «прореженных» потоков АЭ.

Определение прочностных характеристик силовых элементов конструкций ВВТ вне зависимости от их предыстории эксплуатации, формы и размеров достижимо с использованием метода функциональных инвариантов, основанного на определении степени отклонения («разладки») распределений амплитуд сигналов АЭ процессов при деформировании.

Данные методики позволяют проводить воспроизводимую, стабильную и достоверную оценку конструкций любых конфигураций объектов военной техники и вооружения, что делает их уникальными.

#### Библиографический список

1. Расщепляев, Ю.С., Попов, А.В. Метод инвариантов в задаче исследования потоков акустической эмиссии / Ю.С. Расщепляев, А.В. Попов. – Дефектоскопия. – 2000. – №10. – С. 79-82.
2. Расщепляев, Ю.С., Попов, А.В. К вопросу исследования динамики акустико-эмиссионных процессов в задачах неразрушающего контроля методами теории случайных потоков / Ю.С. Расщепляев, А.В. Попов - Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2000. – № 3. – С. 24-27.
3. Расщепляев, Ю.С., Попов, А.В. Оценка степени опасности дефектов на основе инвариантов при акустико-эмиссионном неразрушающем контроле / Ю.С. Расщепляев, А.В. Попов. - Контроль. Диагностика. – 2001. – № 2. – С. 29-32.
4. Попов, А.В., Кондранин, Е.А. Метод контроля прочности силовых элементов конструкций на основе оценки численно-временных характеристик АЭ процессов / А.В. Попов, Е.А. Кондранин. - Контроль. Диагностика - №7. - 2008. - С. 45-47.

#### References

1. Rassheplyaev, Yu.S., Popov, A.V. Metod invariantov v zadache issledovaniya potokov akusticheskoy emissii / Yu.S. Rassheplyaev, A.V. Popov. – Defektoskopiya. – 2000. – №10. – S. 79-82.
2. Rassheplyaev, Yu.S., Popov, A.V. K voprosu issledovaniya dinamiki akustiko-emissionnykh protsessov v zadachah nerazrushayuschego kontrolya metodami teorii sluchaynykh potokov / Yu.S. Rassheplyaev, A.V. Popov - Tehnicheskaya diagnostika i nerazrushayuschiy kontrol. – 2000. – № 3. – S. 24-27.
3. Rassheplyaev, Yu.S., Popov, A.V. Otsenka stepeni opasnosti defektov na osnove invariantov pri akustiko-emissionnom nerazrushayuschem kontrole / Yu.S. Rassheplyaev, A.V. Popov. - Kontrol. Diagnostika. – 2001. – № 2. – S. 29-32.
4. Popov, A.V., Kondranin, E.A. Metod kontrolya prochnosti silovykh elementov konstruktсий na osnove otsenki chislenno-vremennykh harakteristik AE protsessov / A.V. Popov, E.A. Kondranin. - Kontrol. Diagnostika - №7. - 2008. - S. 45-47.

5. **Попов, А.В., Кондранин, Е.А.** Способ оценки процессов разрушения конструкций при акустико-эмиссионном контроле. Патент РФ № 2367941.

6. **Попов, А.В.** Методы определения эксплуатационной пригодности силовых элементов конструкций вооружения и военной техники на основе инвариантов акустико-эмиссионных процессов / А.В. Попов, В.Н. Старов, Д.Е. Барабаш, С.Ю. Жачкин // Вестник ВАИУ. - № 1 (15). - Научное периодическое издание. Воронеж. ВАИУ. - 2012. - С 28-36.

7. **Зибров Г. В.** Механизмы возможных реализаций физических воздействий и учет прочностных характеристик сложных конструкций /Зибров Г. В., Старов В. Н., Смоленцев Е. В., Попов А. В. // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2014. – №1. – С. 15-20.

8. **Зибров Г.В.** Повышение работоспособности за счет восстановления технологическими методами эксплуатационных характеристик военной и специальной техники / Г.В. Зибров, В.Н. Старов, Е.В. Смоленцев, А.В. Попов // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2014. – №2. – С. 26-30.

5. **Popov, A.V., Kondranin, E.A.** Sposob otsenki protsessov razrusheniya konstruktсий pri akustiko-emissionnom kontrole. Patent RF № 2367941.

6. **Popov, A.V.** Metodyi opredeleniya ekspluatatsionnoy prigodnosti silovyih elementov konstruktсий vooruzheniya i voennoy tehniki na osnove invariantov akustiko-emissionnyih protsessov / A.V. Popov, V.N. Starov, D.E. Barabash, S.Yu. Zhachkin // Vestnik VAIU. - № 1 (15). - Nauchnoe periodicheskoe izdanie. Voronezh. VAIU. - 2012. - S 28-36.

7. **Zibrov G.V.** Mehanizmyi vozmozhnyih realizatsiy fizicheskikh vozdeystviy i uchet prochnostnyih harakteristik slozhnyih konstruktсий /Zibrov G. V., Starov V. N., Smolentsev E. V., Popov A. V. // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii. – 2014. – #1. – S. 15-20.

8. **Zibrov G.V.** Povyishenie rabotosposobnosti za schet vosstanovleniya tehnologicheskimi metodami ekspluatatsionnyih harakteristik voennoy i spetsialnoy tehniki / G.V. Zibrov, V.N. Starov, E.V. Smolentsev, A.V. Popov // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii. – 2014. – #2. – S. 26-30.

## ACOUSTIC EMISSION BASED INVARIANTS IN THE EVALUATION OF STRENGTH OF SPECIAL DESIGN AND TECHNOLOGY

**Zibrov G. V.,**

D. Sc. in Pedagogics, Prof.

Military Educational and Scientific Center of the Air Force

«Air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin» (Voronezh);

Russia, Voronezh, tel.: (473)236-90-18

**Starov V. N.,**

D. Sc. in Engineering, Prof.

Voronezh Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia;

Russia, Voronezh, e-mail: vigps\_onirio@mail.ru

**Smolencev E. V.,**

D. Sc. in Engineering, Prof.

Voronezh State Technical University;

Russia, Voronezh, tel.: (473)246-27-72

**Popov A. V.,**

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

Military Educational and Scientific Center of the Air Force

«Air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin» (Voronezh);

Russia, Voronezh, tel.: (473)236-90-18

*Proposed methodology for assessing the strength of high-strength structural elements critical applications regardless of their history of ex-exploitation that the shape and size that is achievable using the method of invariant-Ants, based on determining the degree of deviation of the distribution parameters of acoustic emission signals during the deformation process.*

**Keywords:** damage, destruction, acoustic emission method, invariants, distribution parameters.

## УЧЕТ ФАКТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ И ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ЕГО БЕЗОПАСНОСТИ

*Н.Н. Гусев, В.И. Яковлев, А.В. Бажухин*

*Рассматривается влияние фактического состояния конструкций и грунтового основания гидротехнического сооружения при оценке его безопасности на момент обследования и при проведении поверочных расчетов общей устойчивости причала на глубинный сдвиг.*

**Ключевые слова:** *безопасность гидротехнического сооружения, поверочные расчеты, общая устойчивость причала на глубинный сдвиг, обследование технического состояния гидротехнического сооружения.*

Причалы как гидротехнические сооружения в соответствии с действующими нормами [1, 2], подлежат периодическим обследованиям и экспертизам безопасности гидротехнических сооружений, предусматривающим проведение поверочных расчетов.

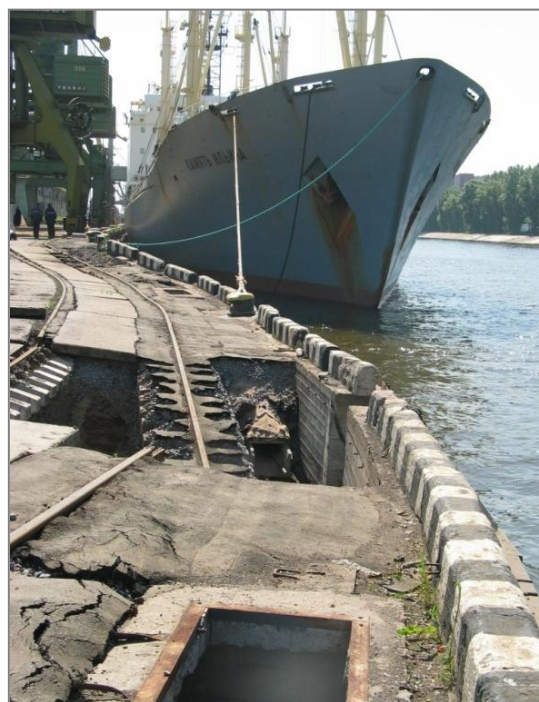
Поверочный расчет – расчет существующей конструкции по действующим нормам проектирования с введением в расчет полученных в результате обследования или проектной и исполнительной документации геометрических параметров конструкций, фактической прочности строительных материалов, действующих нагрузок, уточненной расчетной схемы с учетом дефектов и повреждений [3, 4]. В соответствии с РД 31.31.55-93 «Инструкция по проектированию морских причальных и берегоукрепительных сооружений» [5] расчеты общей устойчивости причала на глубинный сдвиг выполняются по классической расчетной схеме, а именно, «по круглоцилиндрическим или ломаным (фиксированным) поверхностям скольжения» в соответствии с требованиями раздела 6 РД 31.31.55-93[5]. Указанная расчетная схема не учитывает существующее состояние конструкций причала на момент обследования.

**Гусев Николай Николаевич**, директор ООО «НПФ «Лидинг», доктор тех. наук, профессор; Россия, Санкт-Петербург, e-mail: goussev\_nn@mail.ru.

**Яковлев Владимир Иванович**, технический директор ООО «Промтехэксперт», начальник отдела экспертизы технических устройств ООО «НТЦ Экспертсервис». Россия, Санкт-Петербург, доктор тех. наук, профессор, e-mail: lubov\_y@mail.ru.

**Бажухин Александр Викторович**, инженер ООО «Промстандарт»; ассистент, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики. Россия, Санкт-Петербург, e-mail: bazhukhin@gmail.com.

Рассмотрим влияние указанного фактора на конкретном примере поверочного расчета общей устойчивости причала на глубинный сдвиг аварийного Причала №21 Морского порта Санкт-Петербурга, выполненного по результатам обследования конструкций и грунтового основания причала.



**Рис. 1.** Состояние причала №21 после обрушения.

По результатам обследования установлено, что обрушение причала произошло при нагрузке на причал 98,1-166,7 кПа на удалении 16,0 ÷ 31,4 м от линии кордона.

Краткая характеристика объекта (по паспортным данным):



Год постройки – 1926 (ПК0 - 45,0м). Реконструкция – 1963 год. Тип сооружения – вертикальная стенка. Класс сооружения – III.

Основные размеры:

- длина – 175 м;
- ширина: 12,55 м на интервале (ПК0 – 38,5 м); 23,00 м на интервале (ПК38,5 – 175,0 м);
- проектная отметка дна у сооружения (в Балтийской системе высот): минус 9,750 м на интервале (ПК0 – 45,0м); минус 10,150 м на интервале (ПК 45 – 175,0м);
- проектная отметка кордона причала (в Балтийской системе высот) - 3,350 м,;
- верхнее строение – монолитный железобетон 2,85×0,70 м;
- свайное основание – железобетонные сваи 380×420 мм с расстоянием между рядами 3,50 м и шагом 1,50 м;

- заанкеренный больверк с лицевой стенкой из стального шпунта Ларсен-5 (с отметкой низа шпунта минус 17,600 м) и железобетонными анкерными опорами 3160×2600 мм;

- анкерные тяги – стальные диаметром 75 мм;

- грунты засыпки: каменная призма, песок  $\varphi=30^\circ$ , песок  $\varphi=24^\circ$ ;

- нормативная эксплуатационная равномерно-распределенная нагрузка: от 0 до 100 кПа;

- нормативная эксплуатационная крановая нагрузка: 300 кН на каток крана типа К-30;

Расчетная схема фактического глубинного сдвига причала № 21 представлена на рис. 2, которая учитывает следующие параметры технического состояния конструкций и грунтового основания причала № 21, не учитывавшихся при проектировании причала.

Сечение I-I

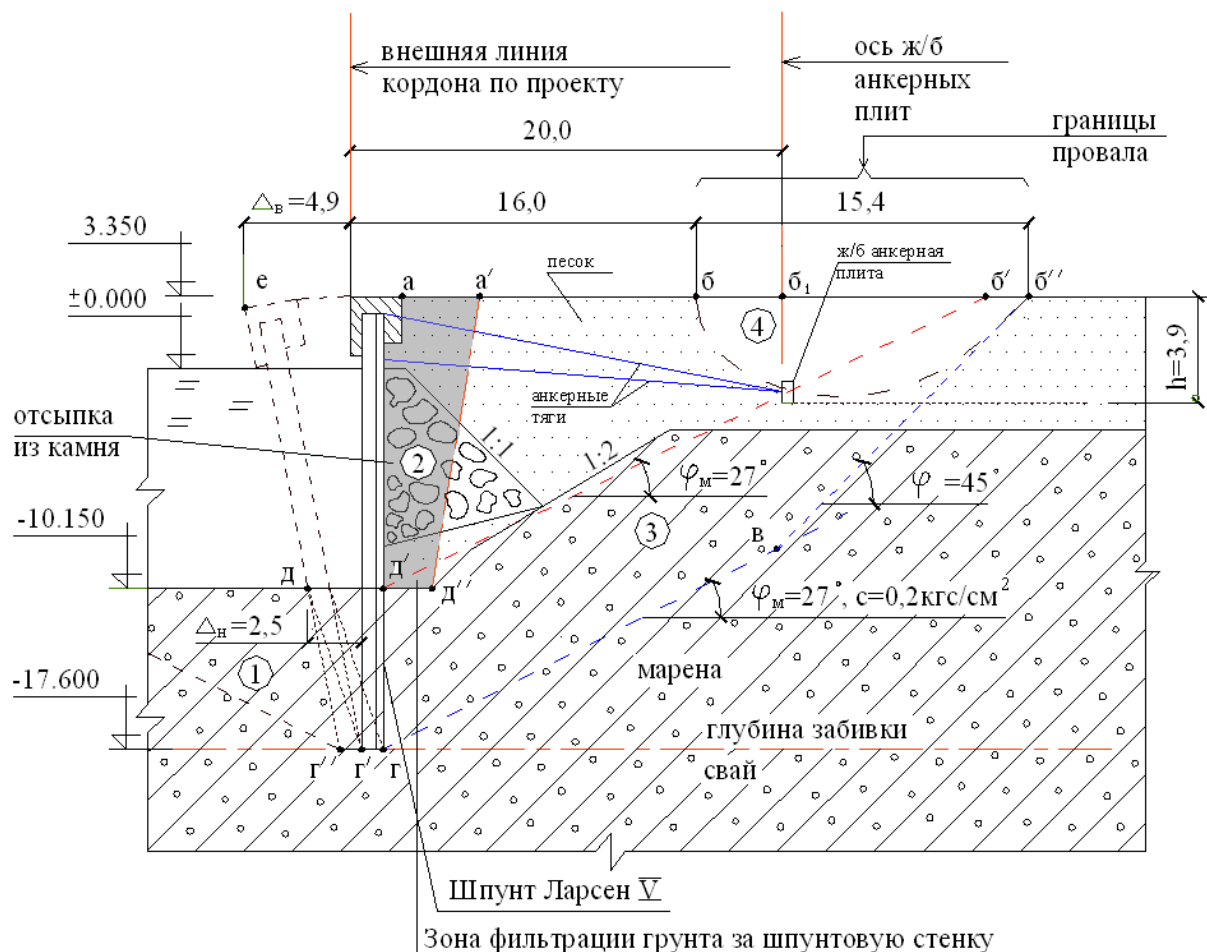


Рис. 2. Расчетная схема глубинного сдвига причала №21.



А. Ввиду того, что проектные данные по причалу № 21 существенно различаются по геологическому строению берегового грунтового массива и по проводимым по проекту мероприятиям по устройству насыпного песчаного основания поверх материкового «маренного» массива, на рис.2 представлен обобщенный разрез прибрежной части причала по сечению 1-1, характерный для середины аварийного участка причала, установленный по результатам обследования и анализа проектных материалов.

Б. При проектировании данного причала, очевидно, использовалась классическая схема расчета общей устойчивости причала на глубинный сдвиг, согласно которой предполагалось, что возможный сдвиг грунтового массива, расположенного за шпунтовой стенкой, должен удерживаться (рис.2):

а) анкерными плитами, установленными на удалении  $20 \div 21$  м от внешней линии кордона;

б) грунтовым массивом в зоне 1, расположенным перед шпунтовой стенкой (слева от нее, рис.2), и обеспечивающим жесткую заделку (неподатливость) шпунтовой стенки, заглубленной до отм. -17.600 с отм. -10.150 дна канала и работающей выше отм. -10.150 по консольной схеме при напоре грунта, расположенного за шпунтовой стенкой (справа от нее, рис. 2);

в) шпунтовой стенкой выше отм. -10.150, работающей по консольной схеме;

г) гидростатическим давлением воды слева от шпунтовой стенки.

В. Расчетные предпосылки, указанные в п. Б, верны при условии (как предполагалось на стадии проектирования), что конструктивное устройство шпунтовой стенки обеспечивает ее непроницаемость для грунта, расположенного за шпунтовой стенкой.

Г. В отличие от исходных (проектных) предпосылок, изложенных в п. Б, В, фактическое состояние конструкций и грунтового основания, как следует из результатов обследования, характеризуется следующими параметрами:

а) наличие значительных дефектов в шпунтовой стенке, вызванных некачественным ее выполнением в период строительства причала и длительным сроком его эксплуатации, не обеспечивало непроницаемость шпунтовой стенки грунтом, расположенным за шпунтовой стенкой, в течение длительного периода эксплуатации причала;

б) обстоятельство, указанное в п. Г, а), явилось причиной для многолетней фильтрации песчаной подсыпки за шпунтовую стенку в местах отсутствия ее сплошности по следующей схеме:

б<sub>1</sub>) на начальной стадии эксплуатации произошел смыв песчаной подсыпки, устроенной непосредственно за шпунтовой стенкой в нижней ее части в зоне 2;

б<sub>2</sub>) отсыпка из камня, устроенная за шпунтовой стенкой в зоне 2 на песчаном основании, со

временем обрушилась на место вымытого за шпунтовую стенку песчаного основания, что и засвидетельствовано результатами обследования;

б<sub>3</sub>) заполнение нижнего участка зоны 2 каменной отсыпкой (см. п. б<sub>2</sub>) и попытки несвоевременной заделки проемов в шпунтовой стенке мешками с цементом не обеспечили непроницаемость шпунтовой стенки для песчаного основания, выполненного в зоне 3 над материковым маренным массивом грунта;

б<sub>4</sub>) в силу обстоятельства по п. б<sub>3</sub>) в течение длительного периода эксплуатации причала происходило смещение (осадка), за счет фильтрации поверхностных и грунтовых вод, песчаного основания над материковым маренным массивом из зоны 3 и из зоны 4 в зону 2, а из зоны 2 сквозь каменную отсыпку за шпунтовую стенку (см. рис. 2);

б<sub>5</sub>) следствием многолетнего процесса, описанного в п. б<sub>4</sub>), являлась неоднократная неравномерная просадка асфальтового покрытия и рельсовых подкрановых путей на причале, что устранялось при эксплуатации причала наращиванием асфальтового покрытия, достигшего в зоне 4 (рис.2) толщины в 34,5 см, и ремонтом подкрановых путей, с дополнительной подсыпкой щебня что подтверждается представленными Заказчиком эксплуатационно-техническими документами;

б<sub>6</sub>) выполнение ремонтных мероприятий, указанных в пункте б<sub>5</sub>), осуществлялось без устранения причин (см. п.п. Г, а), б<sub>1</sub>)-б<sub>4</sub>)), вызывающих осадку основания причала, что (при длительном сроке эксплуатации причала) требовало (по действующим нормативам) уже по крайней мере трех капитальных ремонтов данного причала;

б<sub>7</sub>) в силу обстоятельства, указанного в п. б<sub>6</sub>), в зоне 2 за шпунтовой стенкой (справа от нее – рис.2) со временем образовалось пустое пространство шириной до 0,5 м, незаполненное грунтом.

Последнее обстоятельство по п. Г, б<sub>7</sub>) в корне меняет расчетную схему глубинного сдвига грунтового массива причала:

А. При классической расчетной схеме, использованной на стадии проектирования причала), следовало бы предполагать (при выборе круглоцилиндрической поверхности скольжения), что скольжение (сдвиг) грунтового массива должно происходить (на плоском разрезе, рис.2) по окружности, проходящей через точку «г» и примерно через точку «б<sub>1</sub>» (высота Н от точки «а» до точки «г» по проекту составляет:  $17,6+3,35=20,95$ [м], а длина анкерных тяг (по линии а-б<sub>1</sub>) составляет  $20 \div 21$  м).

Б. Действительная же схема глубинного сдвига (скольжения) грунтового массива с учетом его обрушения в зоне 4 (см. рис.2) вообще не соответствует классической проектной схеме поверочных расчетов. Как следует из рис.2, фактическая зона сдвига грунтового массива с учетом его обрушения в зоне 4 достигла точки б”.

В. С учетом указанного обстоятельства, можно было бы предположить (путем «реконструкции» фактического механизма сдвига по рис.2), что глубинный сдвиг грунтового массива фактически происходил по ломаной поверхности примерно через точки б''-в-г с наклоном участка в-г под углом внутреннего трения материкового маренного массива  $\varphi_m=27^\circ$  (по проекту), а на участке б''-в (с учетом обрушения в зоне 4) под углом  $\varphi=45^\circ$ . При таком предположении сдвигу грунтового массива в зоне 3 должен был бы противодействовать массив грунта в зоне 1.

Г. Данное предположение относительно возможного глубинного скольжения по ломаной линии б''-в-г следует считать маловероятным (практически нереализуемым) в силу следующих обстоятельств.

Известно, что скольжение (обрушение) всегда происходит по линии наименьшего сопротивления. Такой линией по схеме на рис. 1 является линия б'-д'. Данный вывод неизбежно следует из того, что в зоне 2 в течение очень длительного периода эксплуатации причала имела место пустота, и, следовательно, грунтовый массив над плоскостью скольжения по линии б'-д' вообще не имел слева (около шпунтовой стенки) массива, удерживающего массив над линией б'-д' в проектном положении. Единственными силами, удерживавшими массив над линией б'-д' в проектном положении, являлись сила сцепления грунта по плоскости скольжения б'-д' и сопротивление самого грунта.

Д. При схеме обрушения (скольжения) грунтового массива, описанной в п. Г, из работы были исключены:

- а) шпунтовая стенка;
- б) грунтовый массив в зоне 1;
- а) анкерные плиты, оказавшиеся внутри самого сдвигаемого грунтового массива.

С учетом обстоятельства, изложенного в п. Д, неприемлемой оказывается классическая методика расчета, использованная при проектировании причала для объяснения (анализа) фактических причин обрушения причала, так как в использованной классической расчетной схеме глубинного сдвига не учтено фактическое состояние грунтового массива и конструкций причала.

С учетом выше изложенного для реализации в поверочном расчете фактической схемы глубинного сдвига целесообразно воспользоваться известной в механике грунтов формулой, приводимой, в частности, в ВСН 3-80 «Инструкция по проектированию морских причальных сооружений» [6] в п. 8.20 под номером (10), относительно ординат

эпюры горизонтальной составляющей активного давления грунта на плоскости скольжения  $\sigma_{ax}$ :

$$\sigma_{ax} = (q_i^H + \sum \gamma_i^H h_i) \lambda_a - c \lambda_{ac}, \quad (1)$$

где  $q_i^H$  – временная эксплуатационная нагрузка на территории причала;

$\sum \gamma_i^H h_i$  – вертикальное давление от собственного веса грунта на глубине определения ординаты активного давления;

$\gamma_i^H$  – объемная масса грунта в состоянии естественной влажности, взвешивания или насыщения;

$h_i$  – высота i-го слоя грунта с неизменными физико-механическими характеристиками;

$c$  – сцепление грунта, расположенного в сечении, для которого определяется ордината активного давления;

$\lambda_a$  и  $\lambda_{ac}$  – коэффициенты горизонтальной составляющей активного давления грунта и от сил сцепления, определяемые по характеристикам грунта, расположенного в сечении, для которого определяется ордината активного давления.

Формулу (1) можно переписать относительно временной эксплуатационной нагрузки  $q_i^H$ :

$$q_i^H = \frac{c \lambda_{ac} + \sigma_{ax} - \lambda_a \sum \gamma_i^H h_i}{\lambda_a} \quad (2)$$

С учетом схемы, представленной на рис. 2, составляющую  $\sum \gamma_i^H h_i$  в (2) в первом приближении можно определить как для однородного (песчаного) массива с треугольным вертикальным сечением а-б'-д' площадью  $S_\Delta$  и единичной шириной  $B=1$  м с единичным объемом  $V_\Delta$ , равным (рис.3):

$$V_\Delta = B S_\Delta \quad (3)$$

Поскольку нагрузка  $q_i^H$  в (2) должна быть определена на  $1 \text{ м}^2$ , то из объема  $V_\Delta(3)$  достаточно выделить единичный столб высотой  $H$ , шириной  $B=1$  м и длиной  $L=1$  м – из плоскости треугольника  $\Delta ab'd'$  (рис.1), где  $L=1$  м должно быть выбрано симметрично высоте  $H$ , которая определяется в центре тяжести треугольника  $\Delta ab'd'$  (рис. 3).

Из геометрических построений высота  $H$  расчетного единичного столба сползающего массива грунта с единичной площадью основания  $S_1=BL=1 \text{ м}^2$  равна (рис. 3):

$$H=9,55 \text{ м} \quad (4)$$

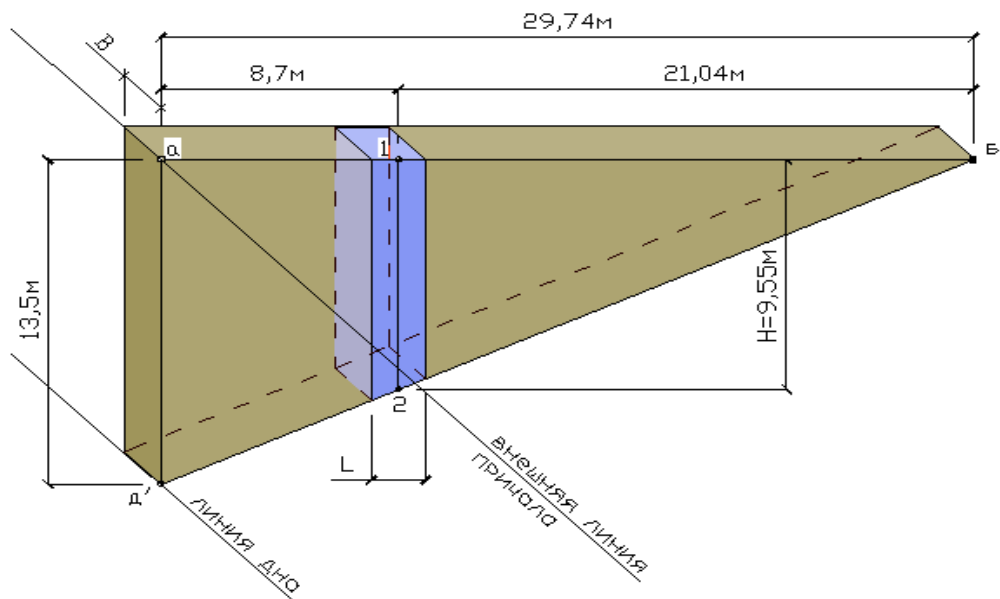


Рис. 3. Расчетная схема единичного грунтового массива.

Условие выбора расчетного единичного грунтового столба с размерами В x L x Н:

$$S_{a12d'} = S_{\Delta 16^2},$$

где S – площади геометрических фигур: трапеции a12d' и треугольника 16<sup>2</sup>.

Тогда для приведенного единичного массива грунта с высотой Н (4) для формулы (2) справедлива замена:

$$\sum \gamma_i^H h_i = \gamma_n H, \tag{5}$$

где  $\gamma_n = 1,5 \div 1,8 \text{ тс/м}^3$  – плотность песка.

На основании (4), (5) получаем:

$$\begin{aligned} \gamma_n H &= (1,5 \div 1,8) * 9,55 = (14,33 \div 17,19) \text{ т/м}^2 \\ &= (140,5 \div 168,6) \text{ кПа} \end{aligned} \tag{6}$$

Скольжение расчетного единичного столба грунта (6) могло происходить двояким образом (рис.2):

А. По поверхности материкового маренного грунта (наиболее выгодный вариант по устойчивости грунтового массива), для которого удельное сцепление по проекту составляет:

$$c = 0,2 \text{ кгс/см}^2 = 2 \text{ т/м}^2 = 19,6 \text{ кПа} \tag{7}$$

Б. По насыпному песчаному грунту над моренным массивом (наименее выгодный вариант), для которого угол внутреннего трения (по проекту)

$$\varphi_n = 28^\circ \tag{8}$$

По СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений» [7] для подобных песчаных грунтов (8) удельное сцепление (Приложение 1, табл. 1) вообще не нормируется, а для песчаных грунтов с углом внутреннего трения

$$\varphi_n = 32^\circ \tag{9}$$

не превышает значения

$$c = 0,02 \text{ кгс/см}^2 = 0,2 \text{ тс/м}^2 = 19,6 \text{ кПа} \tag{10}$$

Значения коэффициентов  $\lambda_a$  и  $\lambda_{ac}$  может быть определено по, табл. 1 ВСН 3-80 «Инструкция по проектированию морских причальных сооруже-

ний» [6] по интерполяции между значениями угла внутреннего трения  $\varphi = 27^\circ$  (для марены по проекту) и  $\varphi_n = 28^\circ$  (8) и значениями угла  $\delta$ , равного  $\varphi$  и  $0,5 \varphi$ , что дает:

$$\lambda_a = 0,355 \tag{11}$$

$$\lambda_{ac} = 1,18 \tag{12}$$

Горизонтальную составляющую активного давления  $\sigma_{ax}$  в формуле (2), которую вообще может выдержать в данном случае подошва сползающего грунтового массива, следует определять по указаниям СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений» [7], который в приложении 3, табл. 5 регламентирует для насыпных грунтов расчетное сопротивление  $R_0$ .

Результаты инженерно-геологических изысканий, проведенных в период обследования причала, показали разброс по виду и физико-механическим характеристикам фактически отсыпанного при строительстве грунта в основание причала от крупнозернистых песков до пылеватых фракций и текучих суглинков. В этой связи и разброс по расчетному сопротивлению насыпных (будем полагать уплотненных) грунтов  $R_0$  следует в расчете назначать по всему допуссаемому СП 22.13330.2011 [7], Приложение 3, табл. 5 диапазону, а именно:

$$R_0 = (1,0 \div 2,5) \text{ кгс/см}^2 = (10 \div 25) \text{ тс/м}^2 = (98,07 \div 245,16) \text{ кПа}. \tag{13}$$

При этом разброс по углу внутреннего трения  $\varphi$  по результатам лабораторных испытаний и по СП 22.13330.2011 [7] следует принимать в диапазоне от минимально возможных для пылеватых грунтов  $\varphi^{\min} = 18^\circ$  до проектных  $\varphi_n = 28^\circ$  (8):

$$\varphi = 18^\circ \div 28^\circ. \tag{14}$$

Очевидно, что для горизонтальной составляющей активного давления  $\sigma_{ax}$  в любом случае (из механики грунтов) справедливо соотношение

$$\sigma_{ax} \leq R_0 \sin \varphi, \quad (15)$$

что при диапазонах (13), (14) дает результат

$$\sigma_{ax} = (3,09 \div 11,74) \text{ тс/м}^2 = (30,3 \div 115, 1) \text{ кПа} \quad (16)$$

Теперь, когда все параметры в формуле (2) определены, можем получить значения временной эксплуатационной нагрузки на причал: максимальные  $q^{\max}$  – наиболее выгодные с точки зрения обеспечения устойчивости грунтового массива и минимальные  $q^{\min}$  – наименее выгодные по обеспечению устойчивости грунтового массива под асфальтовым покрытием причала при его эксплуатации, что при использовании числовых значений (6), (7), (10) – (16) дает:

$$q^{\max} = \frac{2 * 1,18 + 11,74 - 14,33 * 0,355}{0,355} = \quad (17)$$

$$= 25,38 \text{ (тс/м}^2) = 2,54 \text{ (кгс/см}^2) = 254 \text{ (кПа)}$$

$$q^{\min} = \frac{0,2 * 1,18 + 3,09 - 17,19 * 0,355}{0,355} = \quad (18)$$

$$= -7,81 \text{ (тс/м}^2) = -0,78 \text{ (кгс/см}^2) = -78 \text{ (кПа)}$$

Полученные результаты (17), (18) дают весьма значительный разброс от явно завышенного (оптимистичного) (17) до отрицательного (18).

При этом отрицательные значения  $q^{\min}$  (18) физически означают, что при фактически сложившихся условиях эксплуатации данного причала имели место факторы, при которых глубинный сдвиг всего грунтового массива мог произойти в любой момент просто под действием его собственного веса при нулевой временной нагрузке на причал,

$$q = 0, \quad (19)$$

а при приложении временной нагрузки горизонтальная составляющая сопротивления грунтового основания

$$\sigma_{ax} = R_0 \sin \varphi = 3,09 \text{ тс/м}^2 = 30,3 \text{ кПа} \quad (20)$$

и силы сцепления грунта

$$c_{\lambda ac} = 0,2 * 1,18 = 0,236 \text{ тс/м}^2 = 2,31 \text{ кПа} \quad (21)$$

были не в состоянии сдерживать горизонтальную составляющую от веса грунтового массива (см. (2), (5), (18)), равную:

$$\lambda_a(\gamma_n H) = 0,355 * 17,19 = 6,1 \text{ тс/м}^2 = 59,82 \text{ кПа} \quad (22)$$

Из механики грунтов известно, что сдвиг грунтовых масс происходит по линиям наименьшего сопротивления. Из этого следует, что глубинный сдвиг насыпного грунтового массива (рис. 2, разрез 1-1) происходил не непосредственно по материковому маренному основанию, а по прослойке насыпного грунта, расположенного над плоскостью скольжения б'д' (рис.2).

Поскольку расчетные данные (18) – (20) получены для угла внутреннего трения насыпного грунта  $\varphi = 18^\circ$ ; характерного по СП 22.13330.2011 [7] для пылеватых фракций (а фактические данные по инженерно-геологическим изысканиям (ИГИ)

дают даже результат  $\varphi = 10^\circ$ ), и при этих углах  $\varphi = 18^\circ$  (по СП 22.13330.2011) [7] и  $\varphi = 10^\circ$  (по ИГИ) уже по расчету происходит сдвиг насыпного грунтового массива просто под действием собственного веса (с учетом фактического состояния причала), то при уклонах профиля маренного основания в  $30^\circ$  и  $45^\circ$  сдвиг насыпного грунта тем более неизбежно должен был произойти (весь вопрос был лишь во времени, когда это произойдет). Это тем более очевидно, если для анализа использовать профиль, который по месту расположения ближе всего соответствует месту обрушения причала, где уклон маренного основания по проекту предусматривался 1:1 ( $45^\circ$ ). Поэтому данное обстоятельство также подтверждает справедливость сделанных выводов.

#### Выводы.

1. Результаты поверочного расчёта, свидетельствуют о том, что даже при самой невыгодной (непроектной) схеме глубинного сдвига насыпного грунтового массива по материковому моренному основанию в случае выполнения проектных условий, а именно:

- обеспечена грунтонепроницаемость шпунтовой стенки;

- физико-механические характеристики грунта в насыпном массиве соответствуют проекту с углом внутреннего трения  $\varphi$  песчаного грунта  $28^\circ$  с обеспечением сцепления с материковым мореным основанием, то причал №21 обеспечивал восприятие нормативной временной эксплуатационной нагрузки  $q^H$  даже вблизи линии кордона на удалении 8,7 м от него (см. рис.3 и результат (17)), равной

$$q^H = 25,38 \text{ тс/м}^2 = 248,9 \text{ кПа} \quad (23)$$

что существенно превышает нагрузку на причал в момент аварии, равную (по данным обследования)

$$q_\Phi = (10 \div 17) \text{ тс/м}^2 = (98,07 \div 166,7) \text{ кПа} \quad (24)$$

на удалении 16 ÷ 31,4 м от линии кордона.

2. Возникновению аварийной ситуации на причале способствовал целый ряд факторов, выявленных в процессе обследования причала, в числе которых:

#### Прочеты на стадии проектирования причала:

- не было учтено наличие тектонических разломов в районе строительства;

- не были внесены коррективы в проектные решения в связи со строительством в непосредственной близости от причала на глубине 11,750 м Канонерского тоннеля;

- проектные решения допускали грунтопроницаемость лицевой стенки причала;

- на отдельных участках (открылках) шпунтовая стенка запроектирована без анкеровки.

#### Отступления от проекта на стадии строительства:

- отступления от проектных профилей при-

чала при производстве земляных работ;

- применение песков в основании с неоднородными физико-механическими характеристиками, в том числе с заниженными по отношению к проектным;

- применение непроектных элементов конструкций (шпунтовых свай с продольными вставками, непроектные элементы подкладок в узлах затяжки анкеров и т.д.);

- недозатяжка гаек анкерных тяг (длины выступающих частей резьбовой части анкерных тяг менее 1,5 диаметра тяги).

- изменение конструкции распределительно пояса шпунтовой стенки в районе дюкерного перехода;

- низкое качество бетонных работ (не выдержана толщина защитного слоя бетона, непробитые участки в процессе укладки бетона);

- отсутствие гидроизоляции конструкций;
- переуглубление дна у основания шпунтовой стенки.

**Нарушение норм и правил эксплуатации причала:**

- периодичность капитальных ремонтов металлических конструкций причала превышена в 3 раза, а железобетонных – в 2 раза;

- не разработаны критерии безопасности гидротехнического сооружения (причала).

3. Перечисленные факторы привели к его разрушению, при нагрузке почти в два раза меньше нормативной временной эксплуатационной нагрузки, что и подтверждено поверочным расчетом.

4. В целях обеспечения дальнейшей безопасной эксплуатации причала, указанные в статье нарушения действующих норм и правил должны быть учтены и устранены в процессе восстановительных работ.

#### Библиографический список

1. **О безопасности гидротехнических сооружений:** Федеральный закон от 21 июля 1997 г. №117-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. – 1997. - №30, (29 июля). - Ст. 3589

2. **Свод правил:** СП 58.13330.2012 Гидротехнические сооружения. Основные положения. Нормативно-технический материал. - введ. 01.01.2013. – М.: Изд-во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2013. – 58 с.

3. **Свод правил:** СП 13.102.2003. Правила обследования несущих и ограждающих конструкций зданий и сооружений: нормативно-технический материал. - введ. 21.08.2003. - М.: Изд-во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2003. – 34 с.

4. **ГОСТ 31937-2011** Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния - Взамен ГОСТ Р 53778-2010; введ. 01.01.2014. – М.: Изд-во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2014. – 55 с.

5. **РД 31.31.55-93** Инструкция по проектированию морских причальных и берегоукрепительных сооружений: нормативно-технический материал. - введ. 01.06.1993. – М.: Изд-во стандартов, 1993. – 137 с.

6. **ВСН 3-80** Инструкция по проектированию морских причальных сооружений: нормативно-технический материал. - введ. 01.07.1980. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 95 с.

7. **Свод правил:** СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. [Текст]: нормативно-технический материал. - введ. 20.05.2011. – М.: Изд-во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2011. – 67 с.

#### References

1. **O bezopasnosti gidrotehnicheskikh sooruzheniy:** Federalnyiy zakon ot 21 iyulya 1997 g. №117-FZ / /Sobranie zakonodatelstva Rossiyskoy Federatsii. – 1997. - №30, (29 iyulya). - St. 3589

2. **Svod pravil:** SP 58.13330.2012 Gidrotehnicheskije sooruzheniya. Osnovnyie polozheniya. Normativno-tehnicheskij material. - vved. 01.01.2013. – M.: Izd-vo FGUP «STANDARTINFORM», 2013. – 58 s.

3. **Svod pravil:** SP 13.102.2003. Pravila obsledovaniya nesuschih i ograzhdayaschih konstruksiy zdaniy i sooruzheniy: normativno-tehnicheskij material. - vved. 21.08.2003. - M.: Izd-vo FGUP «STANDARTINFORM», 2003. – 34 s.

4. **GOST 31937-2011** Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tehničkog sostoyaniya - Vzamen GOST R 53778-2010; vved. 01.01.2014. – M.: Izd-vo FGUP «STANDARTINFORM», 2014. – 55 s.

5. **RD 31.31.55-93** Instruksiya po proektirovaniyu morskikh prichalnyih i beregoukrepitelnyih sooruzheniy: normativno-tehnicheskij material. - vved. 01.06.1993. – M.: Izd-vo standartov, 1993. – 137 s.

6. **VSN 3-80** Instruksiya po proektirovaniyu morskikh prichalnyih sooruzheniy: normativno-tehnicheskij material. - vved. 01.07.1980. – M.: Izd-vo standartov, 1980. – 95 s.

7. **Svod pravil:** SP 22.13330.2011. Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy. [Tekst]: normativno-tehnicheskij material. - vved. 20.05.2011. – M.: Izd-vo FGUP «STANDARTINFORM», 2011. – 67 s.

## ACCOUNTING THE ACTUAL STATE OF THE CONSTRUCTIONS AND SUBGRADE OF HYDRAULIC STRUCTURES IN ASSESSING IT'S SAFETY

**Nikolai N. Goussev**, D. Sc. in Engineering, Prof.,  
Russia, Saint-Petersburg  
e-mail: goussev\_nn@mail.ru.

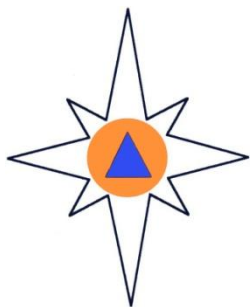
**Vladimir I. Yakovlev**, D. Sc. in Engineering, Prof.  
Russia, Saint-Petersburg  
lubov\_y@mail.ru.

**Aleksandr V. Bazhukhin**,  
Russia, Saint-Petersburg  
bazhukhin@gmail.com.

*Considered the influence of the actual state of constructions and subgrade of hydraulic structure in the evaluation of its safety at the time of inspection and during calibration calculations overall sustainability of the pier at a depth offset.*

**Keywords:** *safety of hydraulic structures, calibration calculations, the overall stability of the pier at a depth offset, inspection of technical condition hydraulic structure.*





## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 614.841:001.891.54

### КРАТКОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПОЖАРНЫХ РИСКОВ В РЕГИОНАХ РОССИИ

С.Н. Тростянский, Ю.Н. Зенин

*Приведены результаты анализа динамической модели панельных данных пожарной и экономической статистики по регионам России с 2006 по 2012 годы. Результаты регрессионного анализа позволяют представить интегральные пожарные риски на объектах надзора и в жилом секторе как линейную функцию от значений соответствующих показателей пожарной статистики за предшествующий год и значений региональных социально-экономических и административно-правовых факторов. Получены формулы для краткосрочного (на 1 год) прогнозирования интегральных пожарных рисков в регионах России, исходя из ожидаемых значений социально-экономических региональных факторов.*

**Ключевые слова:** прогнозирование, интегральные пожарные риски, вероятность возникновения пожаров, анализ панельных данных, социально-экономические факторы.

**Введение.** Для минимизации вероятности возникновения пожаров и социально-экономического ущерба от них в регионах России, необходимо понимание и количественное описание зависимости интегральных пожарных рисков [1] в жилом секторе и на объектах надзора от социально-экономических, административных и правовых факторов. Особенно актуально прогнозирование пожарной обстановки в регионах при резком изменении экономических факторов, что и происходит в настоящее время. Для прогнозирования влияния факторов, определяющих пожарную обстановку в регионах РФ, эффективно использование анализа панельных данных [2] пожарной и экономической статистики по регионам России. Панельные данные это наблюдения одних и тех же экономических единиц или объектов, которые осуществляются в последовательные периоды времени.

**Зенин Юрий Николаевич**, начальник Воронежского института ГПС МЧС России; Россия, г. Воронеж, e-mail: vigps@mail.ru

**Тростянский Сергей Николаевич**, доктор технических наук, доцент; Воронежский институт ГПС МЧС России; Россия, г. Воронеж, тел.: (473)236-33-05; e-mail: trostyansky2012@yandex.ru

#### Модели и результаты прогнозирования.

Информационную базу для анализа по объектам надзора составили панельные данные по 78 регионам РФ, а по жилому сектору по 82 регионам РФ (исключены автономные округа в составе областей, краев, а также регионы, не имеющие полного набора данных) за 2006–2012 гг.. Информация по пожарной статистике и административно-правовым показателям была получена из данных регистрируемых ГПС МЧС России, в частности из [3], а социальные и экономические показатели для регионов и показатели инфляции были взяты из публикаций Росстата. Набор социально-экономических факторов, исследуемых на детерминацию пожарных рисков, основывался на применении модели рационального правонарушителя к анализу социальных причин возникновения пожаров [4,5,6,7]

Полагая, что вероятность возникновения пожаров на объектах надзора и вероятность столкновения человека с пожаром в жилом секторе являются линейными функциями от социально-экономических, административных и климатических региональных факторов и агрегируя по населению региона, построим для них линейные динамические модели [2] в рамках подхода Ареллано-Бонда [8,9]:

1) модель для зависимости вероятности возникновения пожаров на объектах надзора от значе-

ний набора пожарных, экономических и административных показателей с временным лагом в 1 год и от значений набора социально-экономических факторов:

$$\begin{aligned}
 p_{nit} = & a_1 p_{ni(t-1)} + a_2 U_{ni(t-1)} + \\
 & + a_3 S_{i(t-1)} + a_4 R_{2ni(t-1)} + \\
 & + a_5 D_{it} + a_6 V_{it} + a_7 J_{it} + a_8 A_{it} + \\
 & + a_9 I_{it} + a_{10} G_{it} + a_{11} T_{it}^{\circ} + const_1
 \end{aligned} \quad (1)$$

2) модель для зависимости вероятности столкновения человека с пожаром в жилом секторе от значений набора пожарных и экономических показателей с временным лагом в 1 год и от значений набора социально-экономических факторов:

$$\begin{aligned}
 R_{1zi} = & b_1 R_{1zi(t-1)} + b_2 U_{zi(t-1)} + b_3 R_{2zi(t-1)} + \\
 & + b_4 D_{it} + b_5 J_{it} + b_6 A_{it} + b_7 I_{it} + b_8 Z_{it} + b_9 G_{it} + b_{10}'
 \end{aligned} \quad (2)$$

В моделях (1) и (2) нижние индексы  $i$  и  $t$  обозначают регион и год соответственно; смысл зависимых и независимых переменных представлен в Таблице, где приведены результаты идентификации параметров динамических моделей (1) и (2), выполненных на основе регрессионного анализа панельных данных по методу Ареллано-Бонда [8,9]. Расчеты проводились с применением пакета прикладных программ Stata. В таблице 1, кроме значений коэффициентов при переменных и значений констант, представлены также значения стандартных ошибок (в скобках), и соответственно, значимостей ( $z$ ) этих независимых переменных и констант, которые определяются как отношение значения коэффициента или константы к значению соответствующей стандартной ошибки коэффициента или константы.

Таблица.

Факторы	Модель (1) : $p_{it}$ - вероятность возникновения пожара на объектах надзора за год	Модель (2) : $R_{1zi}$ - вероятность столкновения человека с пожаром в жилом секторе за год. Измеряется в единицах [пожар/(10 <sup>3</sup> человек·год)]
$p_{i(t-1)}$ - вероятность возникновения пожара на объектах надзора за год, с лагом в 1 год	$a_1 = 0.4691296$ (0.084365) $z = 5.56$	
$R_{1zi(t-1)}$ - вероятность столкновения человека с пожаром в жилом секторе за год, с лагом в 1 год. Измеряется в единицах [пожар/(10 <sup>3</sup> человек·год)]		$b_1 = 0.9910916$ (0.0792337) $z = 12.51$
$U_{ni(t-1)}$ - средний материальный ущерб от одного пожара на объектах надзора в тысячах рублей, с учетом инфляции относительно 2006 года, с лагом в 1 год	$a_2 = 5.29 \cdot 10^{-7}$ ( $4.93 \cdot 10^{-7}$ ) $z = 1.07$	
$U_{zi(t-1)}$ - средний материальный ущерб от одного пожара в жилом секторе в тысячах рублей, с учетом инфляции относительно 2006 года, с лагом в 1 год		$b_2 = 0.0002009$ (0.0000921) $z = 2.18$
$S_{i(t-1)}$ - средний штраф в тысячах рублей, назначаемый за нарушение требований пожарной безопасности на объектах надзора, с учетом инфляции относительно 2006 года, с лагом в 1 год	$a_3 = 0.0003739$ (0.0000616) $z = 6.07$	

$R_{2ni(t-1)}$ - риск гибели человека при пожаре на объектах надзора, с лагом в 1 год. Измеряется в единицах [жертва/(10 <sup>2</sup> пожаров)].	$a_4 = -0.000001915$ (0.000093596) $z = -0.02$	
$R_{2zi(t-1)}$ - риск гибели человека при пожаре в жилом секторе, с лагом в 1 год. Измеряется в единицах [жертва/(10 <sup>2</sup> пожаров)].		$b_3 = 0.0152813$ (0.0047823) $z = 3.20$
$D_{it}$ - ожидаемые средние месячные денежные доходы населения в тысячах рублей, с учетом инфляции относительно 2006 года, принимая за исходные – средние денежные доходы в тысячах рублей в 2006 году	$a_5 = -0.00161$ (0.000336) $z = -4.79$	$b_4 = -0.0030912$ (0.0095929) $z = -0.32$
$V_{it}$ - ожидаемый валовый региональный продукт на душу населения в тысячах рублях, с учетом инфляции относительно 2006 года, принимая за исходный - валовый региональный продукт на душу населения в тысячах рублей в 2006 году	$a_6 = -1.67 \cdot 10^{-8}$ ( $8.17 \cdot 10^{-8}$ ) $z = -0.20$	
$J_{it}$ - ожидаемый коэффициент Джини в регионах	$a_7 = -0.0036074$ (0.0531789) $z = -0.07$	$b_5 = -0.1398921$ (0.3074268) $z = -0.46$
$A_{it}$ - ожидаемое число больных с впервые в жизни установленным диагнозом психотического расстройства, связанного с употреблением алкоголя и синдрома зависимости от алкоголя, взятых под диспансерное наблюдение психоневрологическими и наркологическими учреждениями на 10 <sup>5</sup> человек населения региона	$a_8 = 0.0000467$ (0.0000141) $z = 3.32$	$b_6 = -0.0001761$ (0.000335) $z = -0.53$
$I_{it}$ - ожидаемый процент студентов в населении региона	$a_9 = -0.0002779$ (0.0008036) $z = -0.35$	$b_7 = 0.0092577$ (0.0167199) $z = 0.55$
$Z_{it}$ - ожидаемый процент ветхого и аварийного жилья в регионе		$b_8 = 0.0097755$ (0.0058765) $z = 1.66$
$G_{it}$ - ожидаемый процент городского населения в регионе	$a_{10} = 0.0006583$ (0.0004873) $z = 1.35$	$b_9 = -0.0083854$ (0.0109358) $z = -0.77$
$T_{it}^{\circ}$ - ожидаемая средняя температура января в градусах Цельсия в регионе	$a_{11} = -0.0001072$ (0.0000673) $z = -1.68$	$b_{10} = 0.0015481$ (0.0014892) $z = -1.04$
Const	const <sub>1</sub> = -0.0285645 (0.0413196) $z = -0.69$	const <sub>2</sub> = 0.3958845 (0.8020479) $z = 0.49$
Тест Вальда, $\chi$	222.33	788.43

При этом, для ретроспективного прогноза по формулам (1) и (2) для вероятности возникновения пожаров в 2012 г. на объектах надзора для 78 регионов РФ, представленных в панельных данных, и для вероятности столкновения человека с пожаром в 2012 г. в жилом секторе для 82 регионов РФ, представленных в панельных данных, рассчитаны величины средней ошибки аппроксимации:

$$A_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p(t_i) - p_{it})^2}{\sum_{i=1}^n p_{it}^2}} \cdot 100\% \quad (3)$$

$$A_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_{1z}(t_i) - R_{1zit})^2}{\sum_{i=1}^n (R_{1zit})^2}} \cdot 100\% \quad (4)$$

где  $p(t_i)$  - прогнозируемое значение вероятности возникновения пожаров на объектах надзора в  $t$  году, в  $i$  регионе;  $p_{it}$  - эмпирическое значение вероятности возникновения пожаров на объектах надзора в  $t$  году, в  $i$  регионе;

$R_{1z}(t_i)$  - прогнозируемое значение вероятности столкновения человека с пожаром в жилом секторе в  $t$  году, в  $i$  регионе;  $R_{1zit}$  - эмпирическое значение вероятности столкновения человека с пожаром в жилом секторе в  $t$  году, в  $i$  регионе.

Из модели (1) для вероятности возникновения пожаров на объектах надзора в регионах РФ средняя ошибка аппроксимации для 2012 года  $A_n = 50,13\%$ . Из модели (2) для вероятности столкновения человека с пожаром в жилом секторе регионов РФ средняя ошибка аппроксимации для 2012 года  $A_z = 21,34\%$ .

Значимое качество моделей (1) и (2) отражают высокие значения теста Вальда:  $\chi_1 = 222,33$  для модели (1) и  $\chi_2 = 748,43$  для модели (2).

**Заключение.** Результаты моделирования вероятности возникновения пожаров за год на объектах надзора и вероятности человека столкнуться с пожаром в жилом секторе для регионов России показали значимую зависимость интегральных пожарных рисков от социально-экономических и административно-правовых региональных факторов. Полученные для рассматриваемых интегральных пожарных рисков значения теста Вальда и средних ошибок аппроксимации для ретроспективных прогнозов на 2012 год подтверждают значимость соответствующих краткосрочных прогнозных моделей. При этом, следует отметить применимую для практики точность краткосрочной прогнозной оценки риска человека столкнуться с пожаром в жилом секторе на основе учета соответствующего риска за прошлый год и ожидаемых значений социально-экономических региональных факторов.

#### Библиографический список

1. **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.
2. **Магнус, Я.Р., Катышев, П.К., Пересецкий, А.А.** Эконометрика. Начальный курс: Учеб.-6-е издание переаб. и доп.-М.: Дело, 2004. 576 стр.
3. **АИС «Электронный инспектор»** [Электронный ресурс]: система гос. надзоров МЧС России / Департамент надзорной деятельности МЧС России. – Доступ из интрасети: <http://10.114.24.160/stats.php>
4. **Тростянский, С.Н.** Оценка вероятности возникновения пожаров на основе математической модели, учитывающей факторы, определяющие долю нарушителей требований пожарной безопасности среди собственников объектов / С.Н.Тростянский, Ю.Н.Зенин, В.А. Минаев, С.В. Скрьль, Г.А. Бакаева // Пожарная безопасность. - 2013. - № 2. - С. 86-91.
5. **Тростянский, С.Н.** Эконометрический подход к управлению пожарными рисками в регионах России / С.Н.Тростянский, С.В. Скрьль, Ю.Ю. Громов, Ю.Н. Зенин, М.С. Денисов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2014. – №5. – С.24 – 31.
6. **Тростянский, С.Н.** Математическое моделирование риска возникновения пожаров на хозяйственных объектах / С.Н.Тростянский, Ю.Н. Зенин, С.В. Скрьль, А.В. Калач // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. - 2013. - №4. – С. 28-33.

#### References

1. **Brushlinskiy, N.N.** Osnovy teorii pozharnyh riskov i ee prilozhenie: Monografija / Brushlinskiy N.N., Sokolov S.V., Klepko E.A., Belov V.A., Ivanova O.V., Popkov S.Ju.– M.: Akademija GPS MChS Rossii, 2012.–192 s.
2. **Magnus, Ja.R., Katyshev, P.K., Pereseckij, A.A.** Jekonometrika. Nachal'nyj kurs: Ucheb.-6-e izdanie pereab. i dop.-M.: Delo, 2004. 576 str.
3. **AIS «Jelektronnyj inspektor»** [Jelektronnyj resurs]: sistema gos. nadzorov MChS Rossii / Departament nadzornoj dejatel'nosti MChS Rossii. – Dostup iz intraseti: <http://10.114.24.160/stats.php>
4. **Trostjanskiy, S.N.** Ocenka verojatnosti vznikhoveniya pozharov na osnove matematicheskoy modeli, uchityvajushhej faktory, opredel'jajushhie dolju narushitelej trebovanij pozharnoj bezopasnosti sredi sobstvennikov obektov / S.N.Trostjanskiy, Ju.N.Zenin, V.A. Minaev, S.V. Skryl', G.A. Bakaeva // Pozharnaja bezopasnost'. - 2013. - № 2. - S. 86-91.
5. **Trostjanskiy, S.N.** Jekonometricheskij podhod k upravleniju pozharnymi riskami v regionah Rossii / S.N. Trostjanskiy, S.V. Skryl', Ju.Ju. Gromov, Ju.N. Zenin, M.S. Denisov // Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika. – 2014. – №5. – S.24 – 31.
6. **Trostyanskiy, S.N.** Matematicheskoe modelirovanie riska vznikhoveniya pozharov na hozyaystvennyih ob'ektah / S.N. Trostyanskiy, Yu.N. Zenin, S.V. Skryil, A.V. Kalach // Pozharyi i chrezvyichaynyie situatsii: predotvraschenie, likvidatsiya. - 2013. - №4. – S. 28-33.
7. **Pranov B.M.** O nekotoryh podhodah k

7. **Пранов Б.М.** О некоторых подходах к моделированию и прогнозированию временных рядов пожарной статистики / Б.М. Пранов // Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». – 2014. - №5(57).

8. **Arellano, M., Bond, S.** Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations // Review of Economic Studies 58, 1991. P. 277-297.

9. **Arellano, M., Bond, S.** Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations // Review of Economic Studies 58, 1991. P. 277-297.

modelirovaniju i prognozirovaniju vremennyh rjadov požarnoj statistiki / B.M. Pranov // Internet-zhurnal «Tehnologii tehnosfernoj bezopasnosti». – 2014. - №5(57).

8. **Arellano, M., Bond, S.** Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations // Review of Economic Studies 58, 1991. P. 277-297.

9. **Arellano, M., Bond, S.** Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations // Review of Economic Studies 58, 1991. P. 277-297.

## SHORT-TERM FORECAST OF INTEGRAL FIRE RISKS IN THE RUSSIAN REGIONS

**Zenin Yu. N.,**

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

**Trostyanskij S. N.,**

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

Voronezh Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia;

Russia, Voronezh, tel.: (473)2363-305, e-mail: trostyansky2012@yandex.ru

*The results of dynamic panel data model analysis of fire and economic statistics in regions of Russia from 2006 to 2012 are presented. The regression analysis results allow to represent as a linear function the dependence of integral fire risks at facilities under supervision and in residential area to the values of the corresponding fire statistic indicators during the previous year and the value of regional socio-economic, administrative and legal factors. Formulas are elicited for short-term (1 year) prediction of fires expectancy in Russia regions based on the expected values of regional socio-economic factors.*

**Keywords:** forecast, integral fire risks, probability of fires, analysis of panel data, social-economic factors.

## АНАЛИЗ МНОГОЛЕТНИХ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ ПО ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ ЗОНАМ И ЛЕСНИЧЕСТВАМ

П.М. Мазуркин

*При этом эти зоны и лесничества принимаются как территориальные единицы и относительно них распределение лесных пожаров за многолетний период рассматривают дважды – по функциональным зонам и лесничествам. Показаны устойчивые закономерности распределения также дважды, причем ранжирование рейтинговых мест функциональных зон выполняют по росту антропогенной нагрузки на леса, а рейтинговые места лесничеств выполняют по увеличению количества лесных пожаров. Для повышения точности анализа принимаются данные о прошлых лесных пожарах за 25 лет и более.*

**Ключевые слова:** лесные пожары, распределения, функциональные зоны, лесничества, закономерности.

**Введение.** Предлагаемый способ относится к лесному хозяйству, в частности, к предупреждающим системам тревожной сигнализации, отличающимся экстраполяцией или другими вычислениями, использующими скорректированные статистические данные о многолетней динамике лесных пожаров на территории одного лесного предприятия. Он может быть использован в условиях национальных парков, заповедников и других видов особо охраняемых территорий. Причем каждая особо охраняемая территория имеет разделение на функциональные зоны и лесничества.

Известен способ (ГОСТ Р 22.1.09-99. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования) мониторинга и прогнозирования, включающий на местном и локальном уровнях общие требования по мониторингу и прогнозированию лесных пожаров и чрезвычайных лесопожарных ситуаций при ведении лесного хозяйства, а также контроль на локальном уровне (места лесных пожаров и площади, пройденные лесными пожарами) организацию работ по контролю за лесопожарной ситуацией и учету последствий лесных пожаров.

Недостатком является практическая невозможность использования статистических данных по многолетней динамике прошлых лесных пожаров для прогнозирования будущих ЧЛС по существующему территориальному разделению особо охраняемой территории на функциональные зоны и лесничества и тем самым отсутствие обратной связи для территориального планирования природоохранных мероприятий и мер по оперативному тушению потенциально возникающих лесных пожаров.

Известен также способ физического анализа данных о статистической совокупности по текущим лесным пожарам и частично на малый период времени по прошлым на данный год лесным пожарам (Лесной дозор. URL: <http://www.lesdozor.ru/ru/sistemalesnoidozor/opisaniecomplexsa>).

Физический анализ данных о лесных пожарах включает (в рамках объема притязаний предлагаемого способа выделены укрупненные действия-процедуры) следующие отличительные признаки: 1) определение координат очага возгорания (максимальная ошибка определения координат очага возгорания – 250 м); 2) **измерение радиуса обзора одной точки мониторинга до 30 км**; 3) точность определения геодезического направления на очаг возгорания не менее 0.5°; 4) время для обзора одной точки - 10 мин; 5) интеграция и учет метеорологических данных; 6) интеграция и учет спутниковых данных; 7) **интеграция данных из сторонних информационных систем**; 8) возможность оперативного масштабирования и расширения системы для увеличения площади мониторинга; 9) неограниченное число пользователей с доступом к системе; 10) оперативное получение информации на мобильные устройства; 11) автоматическое обнаружение потенциально опасных объектов: дыма и пламени.

Главным недостатком является отсутствие учета условного расстояния до центров функциональных зон и лесничеств и экологических свойств лесных земельных участков по их пожарной опасности. В итоге не удастся дополнительно проводить математический анализ многолетнего распределения численности лесных пожаров по функциональным зонам и лесничествам. Отсутствие физико-математического анализа численности пожаров не дает прогнозировать вероятность появления лесных пожаров по функциональным зонам и лесничествам, что не позволяет осознанно управлять технологической мощностью пожарных служб лесничеств.

Кроме того, отсутствие математического учета влияния функциональных зон и лесничеств на

---

Мазуркин Петр Матвеевич,  
доктор тех. наук, профессор,  
Поволжский ГТУ,  
e-mail: kaf\_po@mail.ru

многолетнюю численность лесных пожаров не дает систематизировать весь накапливающийся массив количественной информации. Причем накопление информации можно было бы проводить по заранее и на долгое время установленному делению территории на функциональные зоны и лесничества. Затем по изменению значений каждого показателя многолетней совокупности лесных пожаров идентифицировать закономерности распределения количества лесных пожаров в зависимости от рангов по экологическому ранжированию функциональных зон и лесничеств. 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 измерений.

Технический результат – повышение функциональных возможностей физико-математического анализа многолетней численности лесных пожаров, а также точности инерционного прогнозирования лесных пожаров в будущем, выявлением устойчивых трендов по распределениям лесных пожаров по функциональным зонам и лесничествам.

Этот технический результат достигается тем, что способ анализа многолетних лесных пожаров по функциональным зонам и лесничествам, включающий измерение радиуса обзора одной точки мониторинга до 30 км и интеграцию данных из сторонних информационных систем, проведение физического анализа данных о текущих лесных пожарах, **отличающийся тем, что** для проведения физико-математического анализа принимаются данные о прошлых лесных пожарах на данной территории не менее чем за пять лет, функциональные зоны и лесничества принимаются как территориальные единицы и относительно них на данной территории распределение лесных пожаров за многолетний период в прошлом рассматривают дважды – по функциональным зонам и лесничествам, а затем по многолетним данным выявляют устойчивые закономерности распределения также дважды, причем ранжирование рейтинговых мест функциональных зон выполняют по росту антропогенной нагрузки на леса, а рейтинговые места лесничеств выполняют по увеличению количества лесных пожаров, после этого устанавливают длительность позиционирования системы слежения за лесными пожарами на радиусе линии обзора мониторинга лесных пожаров в зависимости от распределения количества прошлых лесных пожаров по функциональным зонам и лесничествам.

Для повышения точности [1-10] физико-математического анализа принимаются данные о прошлых лесных пожарах за 25 лет и более.

За начало распределение принимают момент времени образования постоянной структуры функциональных зон и лесничеств на данной территории, например, особо охраняемой территории в виде национального парка, при этом за точки мониторинга

дважды принимают функциональную зону или лесничество, причем эти точки мониторинга принимают постоянными по площади с координатами в виде постоянных азимутов и радиусов расположения относительно радарной системы «Дозор», у которого конструктивно выполняют возможность управления длительностью времени позиционирования на заданном радиусе в зависимости от закономерности распределения прошлых лесных пожаров, затем слежение за новыми лесными пожарами проводят с учетом длительности наблюдения за теми зонами и лесничествами в виде точек мониторинга, на которых в прошлом за учетный период времени произошло большее количество лесных пожаров.

В системе «Дозор» предусматривают измерение радиуса обзора одной точки мониторинга до 30 км с возможностью функционального расширения этой технической функции за счет учета распределения многолетних лесных пожаров в прошлом периоде времени по функциональным зонам и лесничествам при автоматизированном обходе радиуса обзора по тем точкам, которые имели в прошлом наибольшее количество пожаров, при этом время обхода радиуса обзора будет переменной физической величиной, зависящей от закономерностей распределения лесных пожаров в прошлом по территории функциональных зон и лесничеств, что позволяет принять функциональные зоны и лесничества при физическом анализе и математическом прогнозировании лесных пожаров как физико-математические единицы точек мониторинга за лесными пожарами.

Сущность технического решения заключается в том, что функциональные зоны и лесничества принимаются как территориальные единицы и относительно них на данной территории распределение лесных пожаров за многолетний период в прошлом рассматривается дважды – по функциональным зонам и лесничествам. Это позволяет учесть при территориальном планировании чрезвычайных пожароопасных ситуаций на будущее выявленные закономерности распределения.

Сущность технического решения заключается также в том, что в системе «Дозор» предусматривается **измерение радиуса обзора одной точки мониторинга до 30 км**, поэтому появляется возможность функционального расширения этой технической функции за счет учета распределения многолетних лесных пожаров по функциональным зонам и лесничествам при автоматизированном обходе радиуса обзора по тем точкам, которые имели в прошлом наибольшее количество пожаров. Тогда время обхода радиуса обзора будет переменной физической величиной, зависящей от закономерностей распределения лесных пожаров в прошлом по территории.

Положительный эффект достигается тем, что функциональные зоны и лесничества учитывают при физическом анализе и прогнозировании лесных пожаров как физико-математические единицы.

Новизна технического решения заключается в том, что впервые ранжирование рейтинговых мест  $i$  функциональных зон было выполнено изначально по росту антропогенной нагрузки. А список лесничеств заполняется по алфавиту, поэтому рейтинговые места  $j$  нами были даны по увеличению количества лесных пожаров. Таким образом, влияющая переменная  $i$  задана изначально по росту антропогенной нагрузки и она пригодна для любых территорий, а влияющая переменная  $j$  была по росту числа пожаров за многолетний период и поэтому она пригодна только для локальных территорий лесных предприятий. Поэтому ранжирование по параметру  $j$  зависит от конкретной лесной территории. В зависимости от распределения количества лесных пожаров по функциональным зонам и лесничествам, имеющим постоянные азимуты и радиусы расположения относительно радарной системы «Дозор», появляется возможность управления длительностью времени позиционирования. Иначе говоря, слежение за новыми лесными пожарами проводится с учетом длительности наблюдения за теми зонами и лесничествами, на которых в прошлом произошли большее количество лесных пожаров.

Способ анализа многолетних лесных пожаров по функциональным зонам и лесничествам, например для особо охраняемой территории в виде национального парка, выполняется следующим образом.

Вначале выясняют по журналу учета лесных пожаров промежутки времени, за который структура функциональных зон и лесничеств не менялась. Начало периода распределения принимают с момента изменения структуры территориального управления национальным парком, а за конец периода принимают последний текущий год до момента распределения. После этого из журнала учета лесных пожаров выписывают по всем многолетним данным, количества лесных пожаров, происшедших на каждой функциональной зоне и лесничестве и по этим исходным данным составляют таблицу с ранжированием мест. При этом по столбцам располагают функциональные зоны и общую сумму лесных пожаров по всем функциональным зонам с их рейтинговыми местами. При большом количестве лесничеств на данной территории по строкам таблицы располагают лесничества по алфавиту с указанием отдельного столбца рейтингового места лесничества.

Для проведения физико-математического анализа принимаются данные о прошлых лесных пожарах на данной территории не менее чем за пять лет, функциональные зоны и лесничества принимаются как территориальные единицы и относительно них на данной территории распределение лесных пожаров за многолетний период в прошлом рассматривают дважды – по функциональным зонам и лесничествам, а затем по многолетним данным выявляют устойчивые закономерности распределения также дважды, причем ранжирование рейтинговых

мест функциональных зон выполняют по росту антропогенной нагрузки на леса, а рейтинговые места лесничеств выполняют по увеличению количества лесных пожаров, после этого устанавливают длительность позиционирования системы слежения за лесными пожарами на радиусе линии обзора мониторинга лесных пожаров в зависимости от распределения количества прошлых лесных пожаров по функциональным зонам и лесничествам.

Для повышения точности физико-математического анализа принимаются данные о прошлых лесных пожарах за 25 лет и более.

За начало распределение принимают момент времени образования постоянной структуры функциональных зон и лесничеств на данной территории, например, особо охраняемой территории в виде национального парка, при этом за точки мониторинга дважды принимают функциональную зону или лесничество, причем эти точки мониторинга принимают постоянными по площади с координатами в виде постоянных азимутов и радиусов расположения относительно радарной системы «Дозор», у которого конструктивно выполняют возможность управления длительностью времени позиционирования на заданном радиусе в зависимости от закономерности распределения прошлых лесных пожаров, затем слежение за новыми лесными пожарами проводят с учетом длительности наблюдения за теми зонами и лесничествами в виде точек мониторинга, на которых в прошлом за учетный период времени произошло большее количество лесных пожаров.

В системе «Дозор» предусматривают измерение радиуса обзора одной точки мониторинга до 30 км с возможностью функционального расширения этой технической функции за счет учета распределения многолетних лесных пожаров в прошлом периоде времени по функциональным зонам и лесничествам при автоматизированном обходе радиуса обзора по тем точкам, которые имели в прошлом наибольшее количество пожаров, при этом время обхода радиуса обзора будет переменной физической величиной, зависящей от закономерностей распределения лесных пожаров в прошлом по территории функциональных зон и лесничеств, что позволяет принять функциональные зоны и лесничества при физическом анализе и математическом прогнозировании лесных пожаров как физико-математические единицы точек мониторинга за лесными пожарами.

**Пример реализации способа.** Государственный природный Национальный парк «Марий Чодра» организован 1 декабря 1985 года. Марий Чодра, в переводе, означает «марийский лес». И назван он так не случайно - вся территория парка покрыта прекрасными сосновыми борами и хвойно-широколиственными лесами.

Парк находится на юго-востоке республики, в трех административных районах - Моркинском, Звениговском, Волжском - в 20-40 км от г. Волжска и 50-70 км от столицы Республики Марий Эл г. Йошкар-Олы.



**Регистрация пожаров.** В таблице 1 приведено количество пожаров с учетом распределения их количества за 23 года по функциональным зонам и лесничествам. До 1987 года распределение лесничеств и их лесных кварталов было иным.

Таблица 1

**Динамика лесных пожаров на территории национального парка «Марий Чодра» за 1987-2009 гг., шт.**

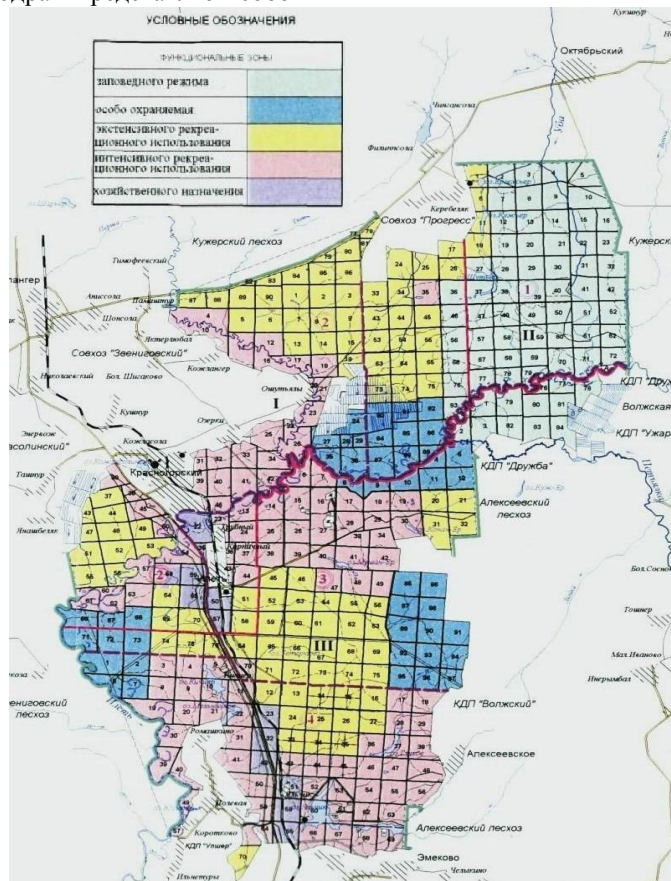
Наименование лесничества (по алфавиту)	Мес-то $j$	Функциональные зоны с местами $i$					Кол-во пожаров $N_j$ , шт.
		заповедный режим	особо охраняемая	экстенсивной рекреации	интенсивной рекреации	хозяйств. назнач.	
		1	2	3	4	5	
Лушмарское	3	0	7	17	37	4	65
Керебелякск.	1	5	0	2	0	0	7
Кленово-горск.	2	1	5	14	23	9	52
Яльчинское	4	0	2	27	100	13	142
Всего по парку $N_i$		6	14	60	160	26	266

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) парка или лесничества, где произошло возгорание, записывает все известные ему данные о возгорании.

Ранжирование рейтинговых мест  $i$  функциональных зон было выполнено изначально по росту антропогенной нагрузки. А список лесничеств заполняется по алфавиту, поэтому рейтинговые места  $j$  нами были даны по увеличению количества лесных пожаров. Таким образом, влияющая переменная  $i$  задана изначально по росту антропогенной нагрузки, а влияющая переменная  $j$  была по росту числа пожаров за многолетний период. Поэтому ранжирование по параметру  $j$  зависит от конкретной лесной территории.

**Динамика лесных пожаров по функциональным зонам.** На рисунке 1 показана карта с нанесенными на нее функциональными зонами в ФГУ «Национальный парк «Марий Чодра». Всего выделены четыре зоны.



**Рис. 1.** Карта-схема территории национального парка «Марий Чодра» с разделением на функциональные зоны и лесные квартала

Территория Национального парка разделена на 5 функциональных зон: зона заповедного режима (7590 га), особо охраняемая зона (4772 га), зона экстенсивной рекреации (11248 га), зона интенсивной рекреации (12039 га), зона хозяйственного назначения (1226 га). Наибольшее количество пожаров на-

блюдается в зоне интенсивной рекреации. Именно в этой зоне вблизи от транспортных путей находятся наиболее освоенные водные объекты отдыха, а также достопримечательности Национального парка и туристические маршруты. В зоне заповедного режима наличие пожаров минимально. Доступ насе-

ления туда запрещен, и все возгорания были от грозовой деятельности.

На пространственном графике (рис. 2) четко просматривается влияние обоих рейтинговых мест  $i$  и  $j$  на распределение лесных пожаров за многолетний период.

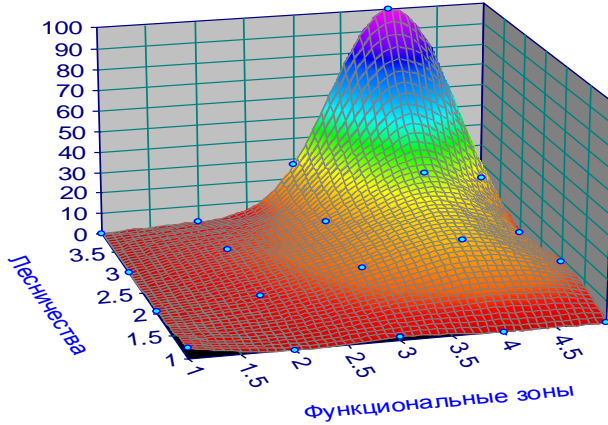


Рис. 2. Пространственный график изменения общей численности лесных пожаров за 1982-2009 гг. в зависимости от рейтинговых мест функциональных зон и лесничеств

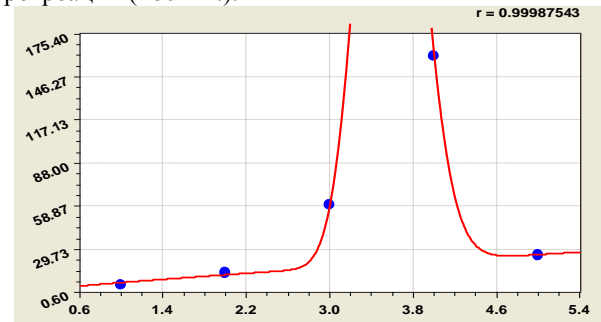
Общая модель распределения количества всех пожаров по функциональным зонам (последняя строка таблицы 1) характеризуется (рис. 3) двухчленным уравнением

$$N_i = 6,50859 \exp(0,27909i) + 2,21723i^{164,4702} \exp(-46,17848i) \quad (1)$$

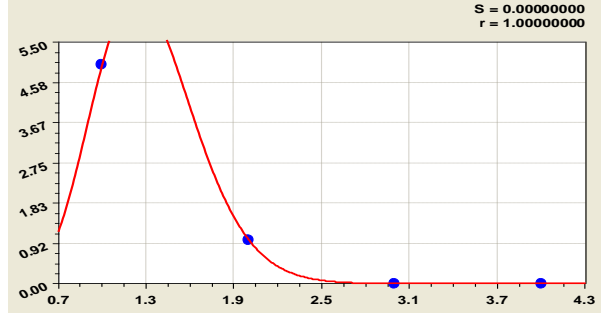
где  $N_i$  - количество лесных пожаров всего, шт.,  $i$  - рейтинговое место функциональной зоны.

Наибольшее количество пожаров в целом по парку наблюдается в промежутке  $i$  от трех до четырех. Место 3 соответствует зоне экстенсивной рек-

реации (60 пожаров), а точка 4 - зоне интенсивной рекреации (160 шт.).



Распределение пожаров по функциональным зонам

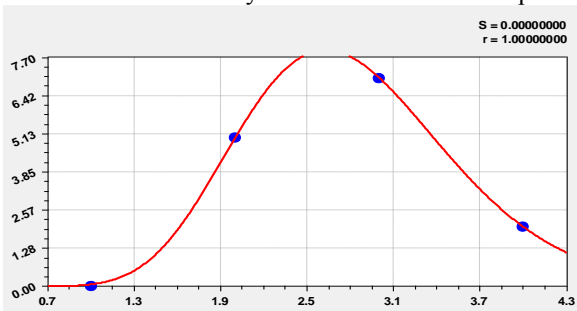


Распределения пожаров по заповедному режиму

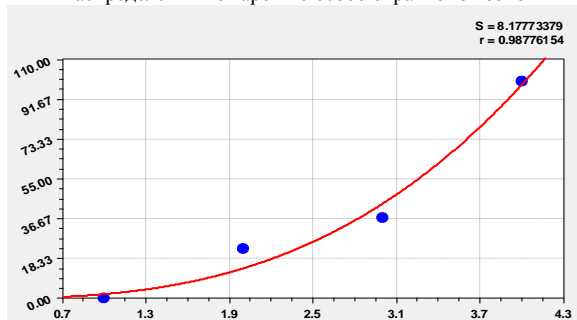
Рис. 3. График распределения многолетних лесных пожаров

Наименьшее количество пожаров наблюдается в зоне заповедного режима (6 шт.).

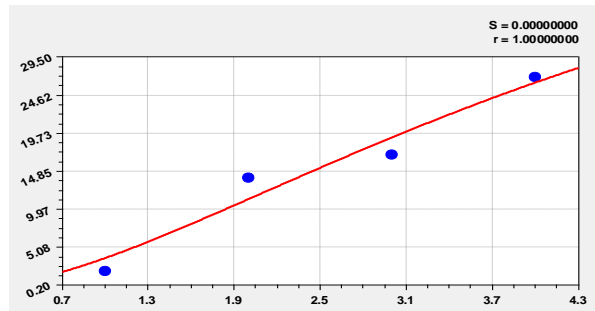
По отдельным функциональным зонам, в зависимости от рейтингового места  $j$  лесничества, графики изменения численности лесных пожаров даны на рисунке 4.



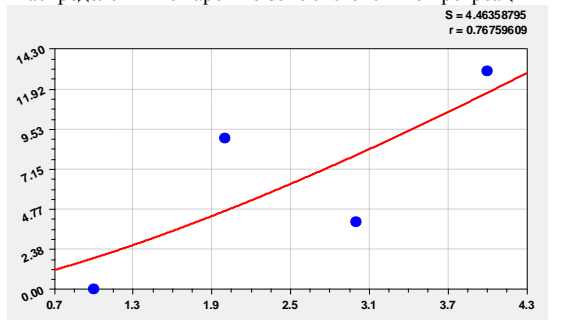
Распределения пожаров по особо охраняемой зоне



Распределения пожаров по зоне интенсивной рекреации



Распределения пожаров по зоне экстенсивной рекреации



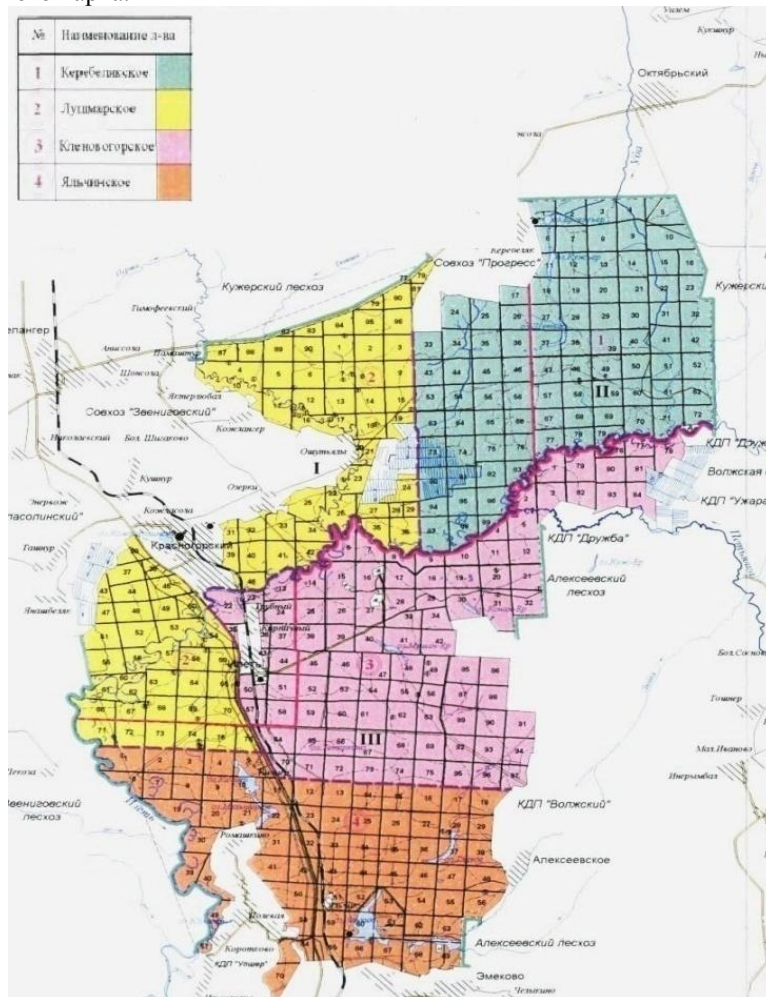
Распределения пожаров по зоне хозяйственного назначения

Рис. 4. График распределения многолетних лесных пожаров по четырем функциональным зонам территории заповедника

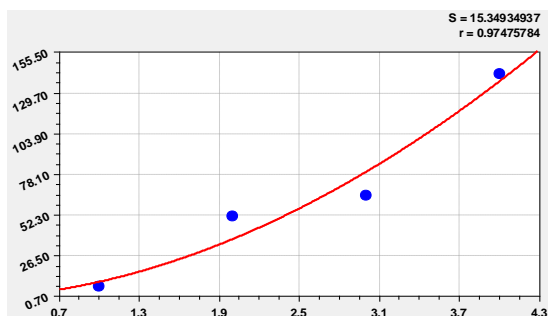
в зависимости от рейтинговых мест лесничеств

**Распределение лесных пожаров по лесничествам.** Национальный парк поделен на 4 лесничества: Керебеляжское, Лушкарское, Кленовогорское, Яльчинское. Самое большое по площади лесничество - Кленовогорское, его площадь 10397 га. Площадь Керебеляжского лесничества составляет 9888 га, Лушмарского - 8885 га, Яльчинского - 7705 га.

На рисунке 5 изображены границы четырех лесничеств национального парка.



**Рис. 5.** Карта-схема административного распределения лесничеств в ФГУ «Национальный парк «Мари́й Чо́дра» без учета рейтинговых мест



**Рис. 6.** График распределения общей численности лесных пожаров за 1982-2009 гг. по лесничествам с учетом их рейтинговых мест

В целом по всем функциональным зонам распределение лесничеств по количеству пожаров подчиняется (рис. 6) формуле

$$N_j = 10,06720 j^{1,88425} \quad (2)$$

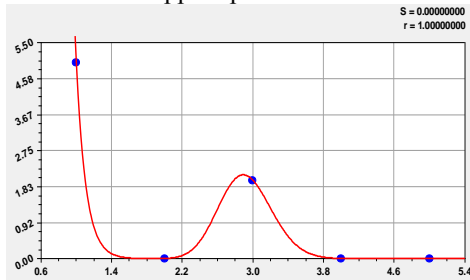
где  $N_j$  - количество лесных пожаров по всем функциональным зонам, шт.,  $j$  - рейтинговое место лесничества.

Заметно, что остатки после формулы имеют волновой характер. Это видно по отклонениям на рисунке 6 точек относительно среднестатистической линии. Поэтому, при количестве лесничеств более 7, возможна идентификация и волновых составляющих общей закономерности. Распределение лесных пожаров за период 1987-2009 гг. по отдельным лесничествам показано на рисунке 7.

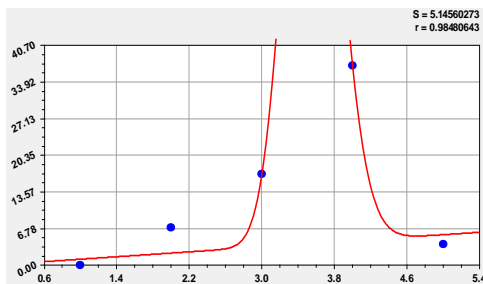
**Заключение.** Предлагаемый способ обладает простотой реализации, так как по фактическим прошлым многолетним данным о лесных пожарах на конкретной территории остается необходимо из алфавитного списка лесных предприятий (лесни-

чество) вначале располагать по рейтингу возрастания количества лесных пожаров, а затем провести физико-математический анализ статистической выборки по типу таблицы 1.

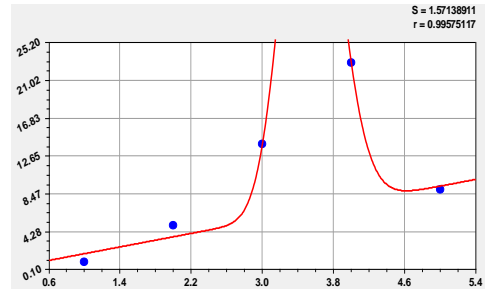
Применение предложенного способа расширяет возможности территориального экологического



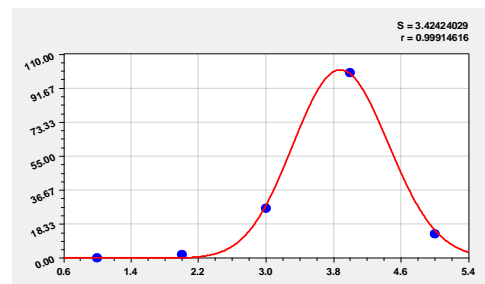
Пожары в Керебелякском лесничестве



Пожары в Лушмарском лесничестве



Пожары в Кленовогорском лесничестве



Пожары в Яльчикском лесничестве

Рис. 7. График распределения общей численности лесных пожаров за 1982-2009 гг. по каждому из четырех лесничеств в зависимости от рейтингового места функциональной зоны

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

прогнозирования и уточнения распределения лесных пожаров вдоль радиуса обзора, а также провести прогнозный расчет по ним значений параметров будущих лесных пожаров.

#### Библиографический список

1. 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. - N 1. - С.102-107.
2. 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. - N 15. - С.148-151.
3. 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. - N1 (6). - С.31-37.
4. 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. №2 (7). С.37-43.
5. 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. - N 5 – [электронный ресурс] - URL: <http://www.science-education.ru/111-10164> (дата обращения: 26.09.2013).
6. Мазуркин, П.М., Скорикова, Л.А. Динамика темпе-

#### References

1. Mazurkin, P.M., Blinova, K.S. Aktivnost Solntsa i godichnaya dinamika lesnykh pozharov na osobo oh-ranyaemoy territorii / P.M. Mazurkin, K.S. Blinova // Us-pehi sovremennogo estestvoznaniya. - 2013.- N 1. - S.102-107.
2. Mazurkin, P.M. Asimmetrichnyye veyvlet-signalny mnogoletney dinamiki chislenosti lesnykh pozharov Res-publiki Mariy El / P.M. Mazurkin, K.S. Blinova, A.V. Haziev // Vestnik Kazanskogo tehnol. un-ta.- 2013. - T. 16. - N 15. - S.148-151.
3. Mazurkin, P.M., Katkova, T.E. Modelirovanie mnogoletney dinamiki izmeneniya ploschadi lesnykh pozharov / P.M. Mazurkin, T.E. Katkova // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii. - 2013. - N1 (6). - S.31-37.
4. Mazurkin, P.M., Katkova, T.E. Analiz mnogolet-ney dinamiki udelnoy ploschadi lesnykh pozharov / P.M. Mazurkin, T.E. Katkova // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii. 2013. №2 (7). S.37-43.
5. Mazurkin, P.M., Katkova, T.E. Veyvlet-analiz mnogoletney dinamiki lokalnoy chislenosti lesnykh po-zharov / P.M. Mazurkin, T.E. Katkova // Sovremennyye pro-blemy nauki i obrazovaniya. - 2013. - N 5 – [elektronnyy resurs] - URL: <http://www.science-education.ru/111-10164> (data obrascheniya: 26.09.2013).
6. Mazurkin, P.M., Skorikova, L.A. Dinamika temperatury goreniya drevesnykh opilok pri ispyitanii szhiganiem

ратуры горения древесных опилок при испытании сжиганием / П.М. Мазуркин, Л.А. Скорикова // Вестник КНИТУ. - 2011. - N 7. - С.58-61.

7. Мазуркин, П.М., Филонов, А.С. Математическое моделирование. Идентификация однофакторных статистических закономерностей: учеб. пособие / П.М. Мазуркин, А.С. Филонова. - Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. - 292 с.

8. Пат. 2406079 Российская Федерация, МПК G 01 N 25/00, G 01 N 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. - N 2009133872/28; заявл. 09.09.2009; опубл. 10.12.2010.

9. Пат. 2449272 Российская Федерация, МПК G 01 N 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. ун-т. - N 2009133878/15; заявл. 09.09.2009; опубл. 27.04.2012; Бюл. N 12.

10. Пат. 2416793 Российская Федерация, МПК G 01 N 33/46, A 62 C 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. - N 2009133875/12; заявл. 09.09.2009; опубл. 20.04.2011.

/ P.M. Mazurkin, L.A. Skorikova // Vestnik KNITU. - 2011. - N 7. - S.58-61.

7. Mazurkin, P.M., Filonov, A.S. Matematicheskoe modelirovanie. Identifikatsiya odnofaktornykh statisticheskikh zakonernostey: ucheb. posobie / P.M. Mazurkin, A.S. Filonova. - Yoshkar-Ola: MarGTU, 2006. - 292 s.

8. Pat. 2406079 Rossiyskaya Federatsiya, MPK G 01 N 25/00, G 01 N 33/46 (2006.01). Sposob ispyitaniya drevesnykh materialov po temperature sgoraniya / Mazurkin P.M., Kudryavtseva L.A. (RF); zayavitel i patentoobladatel Mariy-skiy gos. teh. un-t. - N 2009133872/28; zayavl. 09.09.2009; opubl. 10.12.2010.

9. Pat. 2449272 Rossiyskaya Federatsiya, MPK G 01 N 33/46, A 01 G 23/00 (2006.01). Sposob ispyitaniya drevesnykh materialov na goryuchest / Mazurkin P.M., Kudryavtseva L.A.; zayavitel i patentoobladatel Mariyskiy gos. teh. un-t. - N 2009133878/15; zayavl. 09.09.2009; opubl. 27.04.2012; Byul. N 12.

10. Pat. 2416793 Rossiyskaya Federatsiya, MPK G 01 N 33/46, A 62 S 3/02 (2006.01). Sposob ispyitaniya lesnykh goryuchih materialov na vosplamenaemost / Mazurkin P.M., Kudryav-tseva L.A., Egorova E.A. (RF); zayavitel i patentoobladatel Mariyskiy gos. teh. un-t. - N 2009133875/12; zayavl. 09.09.2009; opubl. 20.04.2011

## ANALYSIS OF LONG-TERM FOREST FIRES BY FUNCTIONAL AREAS AND FORESTRY

**Mazurkin P.M.**

Volga State University of Technology;  
Ioshkar-Ola, Russia

*Thus these zones and forestry are accepted as territorial units and concerning them distribution of forest fires for the long-term period consider twice – on functional zones and forestry. Steady regularities of distribution also are shown twice, and ranging of rating places of functional zones carry out on growth of anthropogenic load of the woods, and rating places of forestry carry out on increase in number of forest fires. For increase of accuracy of the analysis data on last forest fires in 25 years and more are accepted.*

**Keywords:** forest fires, distributions, functional zones, forestry, regularities.

## АНАЛИЗ МНОГОЛЕТНИХ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ ПО ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ ЗОНАМ И ЛЕСНИЧЕСТВАМ

П.М. Мазуркин

*При этом эти зоны и лесничества принимаются как территориальные единицы и относительно них распределение лесных пожаров за многолетний период рассматривают дважды – по функциональным зонам и лесничествам. Показаны устойчивые закономерности распределения также дважды, причем ранжирование рейтинговых мест функциональных зон выполняют по росту антропогенной нагрузки на леса, а рейтинговые места лесничеств выполняют по увеличению количества лесных пожаров. Для повышения точности анализа принимаются данные о прошлых лесных пожарах за 25 лет и более.*

**Ключевые слова:** лесные пожары, распределения, функциональные зоны, лесничества, закономерности.

**Введение.** Предлагаемый способ относится к лесному хозяйству, в частности, к предупреждающим системам тревожной сигнализации, отличающимся экстраполяцией или другими вычислениями, использующими скорректированные статистические данные о многолетней динамике лесных пожаров на территории одного лесного предприятия. Он может быть использован в условиях национальных парков, заповедников и других видов особо охраняемых территорий. Причем каждая особо охраняемая территория имеет разделение на функциональные зоны и лесничества.

Известен способ (ГОСТ Р 22.1.09-99. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования) мониторинга и прогнозирования, включающий на местном и локальном уровнях общие требования по мониторингу и прогнозированию лесных пожаров и чрезвычайных лесопожарных ситуаций при ведении лесного хозяйства, а также контроль на локальном уровне (места лесных пожаров и площади, пройденные лесными пожарами) организацию работ по контролю за лесопожарной ситуацией и учету последствий лесных пожаров.

Недостатком является практическая невозможность использования статистических данных по многолетней динамике прошлых лесных пожаров для прогнозирования будущих ЧЛС по существующему территориальному разделению особо охраняемой территории на функциональные зоны и лесничества и тем самым отсутствие обратной связи для территориального планирования природоохранных мероприятий и мер по оперативному тушению потенциально возникающих лесных пожаров.

Известен также способ физического анализа данных о статистической совокупности по текущим лесным пожарам и частично на малый период времени по прошлым на данный год лесным пожарам (Лесной дозор. URL: <http://www.lesdozor.ru/ru/sistemalesnoidozor/opisaniecomplexsa>).

Физический анализ данных о лесных пожарах включает (в рамках объема притязаний предлагаемого способа выделены укрупненные действия-процедуры) следующие отличительные признаки: 1) определение координат очага возгорания (максимальная ошибка определения координат очага возгорания – 250 м); 2) **измерение радиуса обзора одной точки мониторинга до 30 км**; 3) точность определения геодезического направления на очаг возгорания не менее 0.5°; 4) время для обзора одной точки - 10 мин; 5) интеграция и учет метеорологических данных; 6) интеграция и учет спутниковых данных; 7) **интеграция данных из сторонних информационных систем**; 8) возможность оперативного масштабирования и расширения системы для увеличения площади мониторинга; 9) неограниченное число пользователей с доступом к системе; 10) оперативное получение информации на мобильные устройства; 11) автоматическое обнаружение потенциально опасных объектов: дыма и пламени.

Главным недостатком является отсутствие учета условного расстояния до центров функциональных зон и лесничеств и экологических свойств лесных земельных участков по их пожарной опасности. В итоге не удастся дополнительно проводить математический анализ многолетнего распределения численности лесных пожаров по функциональным зонам и лесничествам. Отсутствие физико-математического анализа численности пожаров не дает прогнозировать вероятность появления лесных пожаров по функциональным зонам и лесничествам, что не позволяет осознанно управлять технологической мощностью пожарных служб лесничеств.

Кроме того, отсутствие математического учета влияния функциональных зон и лесничеств на

---

**Мазуркин Петр Матвеевич,**  
доктор тех. наук, профессор,  
Поволжский ГТУ,  
e-mail: kaf\_po@mail.ru

---

© Мазуркин П.М., 2014

многолетнюю численность лесных пожаров не дает систематизировать весь накапливающийся массив количественной информации. Причем накопление информации можно было бы проводить по заранее и на долгое время установленному делению территории на функциональные зоны и лесничества. Затем по изменению значений каждого показателя многолетней совокупности лесных пожаров идентифицировать закономерности распределения количества лесных пожаров в зависимости от рангов по экологическому ранжированию функциональных зон и лесничеств. 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 измерений.

Технический результат – повышение функциональных возможностей физико-математического анализа многолетней численности лесных пожаров, а также точности инерционного прогнозирования лесных пожаров в будущем, выявлением устойчивых трендов по распределениям лесных пожаров по функциональным зонам и лесничествам.

Этот технический результат достигается тем, что способ анализа многолетних лесных пожаров по функциональным зонам и лесничествам, включающий измерение радиуса обзора одной точки мониторинга до 30 км и интеграцию данных из сторонних информационных систем, проведение физического анализа данных о текущих лесных пожарах, **отличающийся тем, что** для проведения физико-математического анализа принимаются данные о прошлых лесных пожарах на данной территории не менее чем за пять лет, функциональные зоны и лесничества принимаются как территориальные единицы и относительно них на данной территории распределение лесных пожаров за многолетний период в прошлом рассматривают дважды – по функциональным зонам и лесничествам, а затем по многолетним данным выявляют устойчивые закономерности распределения также дважды, причем ранжирование рейтинговых мест функциональных зон выполняют по росту антропогенной нагрузки на леса, а рейтинговые места лесничеств выполняют по увеличению количества лесных пожаров, после этого устанавливают длительность позиционирования системы слежения за лесными пожарами на радиусе линии обзора мониторинга лесных пожаров в зависимости от распределения количества прошлых лесных пожаров по функциональным зонам и лесничествам.

Для повышения точности [1-10] физико-математического анализа принимаются данные о прошлых лесных пожарах за 25 лет и более.

За начало распределение принимают момент времени образования постоянной структуры функциональных зон и лесничеств на данной территории, например, особо охраняемой территории в виде национального парка, при этом за точки мониторинга

дважды принимают функциональную зону или лесничество, причем эти точки мониторинга принимают постоянными по площади с координатами в виде постоянных азимутов и радиусов расположения относительно радарной системы «Дозор», у которого конструктивно выполняют возможность управления длительностью времени позиционирования на заданном радиусе в зависимости от закономерности распределения прошлых лесных пожаров, затем слежение за новыми лесными пожарами проводят с учетом длительности наблюдения за теми зонами и лесничествами в виде точек мониторинга, на которых в прошлом за учетный период времени произошло большее количество лесных пожаров.

В системе «Дозор» предусматривают измерение радиуса обзора одной точки мониторинга до 30 км с возможностью функционального расширения этой технической функции за счет учета распределения многолетних лесных пожаров в прошлом периоде времени по функциональным зонам и лесничествам при автоматизированном обходе радиуса обзора по тем точкам, которые имели в прошлом наибольшее количество пожаров, при этом время обхода радиуса обзора будет переменной физической величиной, зависящей от закономерностей распределения лесных пожаров в прошлом по территории функциональных зон и лесничеств, что позволяет принять функциональные зоны и лесничества при физическом анализе и математическом прогнозировании лесных пожаров как физико-математические единицы точек мониторинга за лесными пожарами.

Сущность технического решения заключается в том, что функциональные зоны и лесничества принимаются как территориальные единицы и относительно них на данной территории распределение лесных пожаров за многолетний период в прошлом рассматривается дважды – по функциональным зонам и лесничествам. Это позволяет учесть при территориальном планировании чрезвычайных пожароопасных ситуаций на будущее выявленные закономерности распределения.

Сущность технического решения заключается также в том, что в системе «Дозор» предусматривается **измерение радиуса обзора одной точки мониторинга до 30 км**, поэтому появляется возможность функционального расширения этой технической функции за счет учета распределения многолетних лесных пожаров по функциональным зонам и лесничествам при автоматизированном обходе радиуса обзора по тем точкам, которые имели в прошлом наибольшее количество пожаров. Тогда время обхода радиуса обзора будет переменной физической величиной, зависящей от закономерностей распределения лесных пожаров в прошлом по территории.

Положительный эффект достигается тем, что функциональные зоны и лесничества учитывают при физическом анализе и прогнозировании лесных пожаров как физико-математические единицы.

Новизна технического решения заключается в том, что впервые ранжирование рейтинговых мест  $i$  функциональных зон было выполнено изначально по росту антропогенной нагрузки. А список лесничеств заполняется по алфавиту, поэтому рейтинговые места  $j$  нами были даны по увеличению количества лесных пожаров. Таким образом, влияющая переменная  $i$  задана изначально по росту антропогенной нагрузки и она пригодна для любых территорий, а влияющая переменная  $j$  была по росту числа пожаров за многолетний период и поэтому она пригодна только для локальных территорий лесных предприятий. Поэтому ранжирование по параметру  $j$  зависит от конкретной лесной территории. В зависимости от распределения количества лесных пожаров по функциональным зонам и лесничествам, имеющим постоянные азимуты и радиусы расположения относительно радарной системы «Дозор», появляется возможность управления длительностью времени позиционирования. Иначе говоря, слежение за новыми лесными пожарами проводится с учетом длительности наблюдения за теми зонами и лесничествами, на которых в прошлом произошли большее количество лесных пожаров.

Способ анализа многолетних лесных пожаров по функциональным зонам и лесничествам, например для особо охраняемой территории в виде национального парка, выполняется следующим образом.

Вначале выясняют по журналу учета лесных пожаров промежутки времени, за который структура функциональных зон и лесничеств не менялась. Начало периода распределения принимают с момента изменения структуры территориального управления национальным парком, а за конец периода принимают последний текущий год до момента распределения. После этого из журнала учета лесных пожаров выписывают по всем многолетним данным, количества лесных пожаров, происшедших на каждой функциональной зоне и лесничестве и по этим исходным данным составляют таблицу с ранжированием мест. При этом по столбцам располагают функциональные зоны и общую сумму лесных пожаров по всем функциональным зонам с их рейтинговыми местами. При большом количестве лесничеств на данной территории по строкам таблицы располагают лесничества по алфавиту с указанием отдельного столбца рейтингового места лесничества.

Для проведения физико-математического анализа принимаются данные о прошлых лесных пожарах на данной территории не менее чем за пять лет, функциональные зоны и лесничества принимаются как территориальные единицы и относительно них на данной территории распределение лесных пожаров за многолетний период в прошлом рассматривают дважды – по функциональным зонам и лесничествам, а затем по многолетним данным выявляют устойчивые закономерности распределения также дважды, причем ранжирование рейтинговых

мест функциональных зон выполняют по росту антропогенной нагрузки на леса, а рейтинговые места лесничеств выполняют по увеличению количества лесных пожаров, после этого устанавливают длительность позиционирования системы слежения за лесными пожарами на радиусе линии обзора мониторинга лесных пожаров в зависимости от распределения количества прошлых лесных пожаров по функциональным зонам и лесничествам.

Для повышения точности физико-математического анализа принимаются данные о прошлых лесных пожарах за 25 лет и более.

За начало распределение принимают момент времени образования постоянной структуры функциональных зон и лесничеств на данной территории, например, особо охраняемой территории в виде национального парка, при этом за точки мониторинга дважды принимают функциональную зону или лесничество, причем эти точки мониторинга принимают постоянными по площади с координатами в виде постоянных азимутов и радиусов расположения относительно радарной системы «Дозор», у которого конструктивно выполняют возможность управления длительностью времени позиционирования на заданном радиусе в зависимости от закономерности распределения прошлых лесных пожаров, затем слежение за новыми лесными пожарами проводят с учетом длительности наблюдения за теми зонами и лесничествами в виде точек мониторинга, на которых в прошлом за учетный период времени произошло большее количество лесных пожаров.

В системе «Дозор» предусматривают измерение радиуса обзора одной точки мониторинга до 30 км с возможностью функционального расширения этой технической функции за счет учета распределения многолетних лесных пожаров в прошлом периоде времени по функциональным зонам и лесничествам при автоматизированном обходе радиуса обзора по тем точкам, которые имели в прошлом наибольшее количество пожаров, при этом время обхода радиуса обзора будет переменной физической величиной, зависящей от закономерностей распределения лесных пожаров в прошлом по территории функциональных зон и лесничеств, что позволяет принять функциональные зоны и лесничества при физическом анализе и математическом прогнозировании лесных пожаров как физико-математические единицы точек мониторинга за лесными пожарами.

**Пример реализации способа.** Государственный природный Национальный парк «Марий Чодра» организован 1 декабря 1985 года. Марий Чодра, в переводе, означает «марийский лес». И назван он так не случайно - вся территория парка покрыта прекрасными сосновыми борами и хвойно-широколиственными лесами.

Парк находится на юго-востоке республики, в трех административных районах - Моркинском, Звениговском, Волжском - в 20-40 км от г. Волжска и 50-70 км от столицы Республики Марий Эл г. Йошкар-Олы.



**Регистрация пожаров.** В таблице 1 приведено количество пожаров с учетом распределения их количества за 23 года по функциональным зонам и лесничествам. До 1987 года распределение лесничеств и их лесных кварталов было иным.

Таблица 1  
**Динамика лесных пожаров на территории национального парка «Марий Чодра» за 1987-2009 гг., шт.**

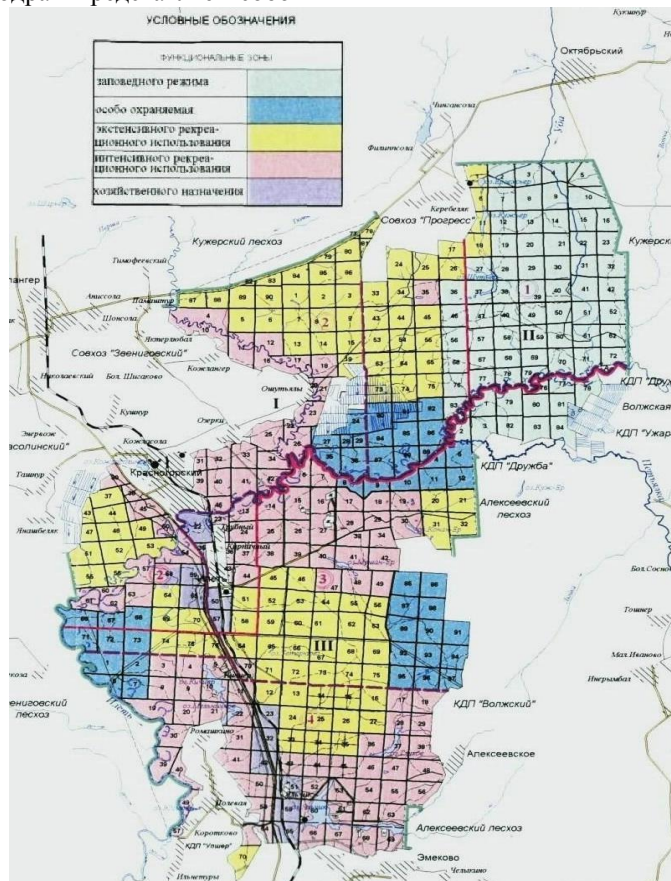
Наименование лесничества (по алфавиту)	Мес-то $j$	Функциональные зоны с местами $i$					Кол-во пожаров $N_j$ , шт.
		заповедный режим	особо охраняемая	экстенсивной рекреации	интенсивной рекреации	хозяйств. назнач.	
		1	2	3	4	5	
Лушмарское	3	0	7	17	37	4	65
Керебелякск.	1	5	0	2	0	0	7
Кленово-горск.	2	1	5	14	23	9	52
Яльчинское	4	0	2	27	100	13	142
Всего по парку $N_i$		6	14	60	160	26	266

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) парка или лесничества, где произошло возгорание, записывает все известные ему данные о возгорании.

Ранжирование рейтинговых мест  $i$  функциональных зон было выполнено изначально по росту антропогенной нагрузки. А список лесничеств заполняется по алфавиту, поэтому рейтинговые места  $j$  нами были даны по увеличению количества лесных пожаров. Таким образом, влияющая переменная  $i$  задана изначально по росту антропогенной нагрузки, а влияющая переменная  $j$  была по росту числа пожаров за многолетний период. Поэтому ранжирование по параметру  $j$  зависит от конкретной лесной территории.

**Динамика лесных пожаров по функциональным зонам.** На рисунке 1 показана карта с нанесенными на нее функциональными зонами в ФГУ «Национальный парк «Марий Чодра». Всего выделены четыре зоны.



**Рис. 1.** Карта-схема территории национального парка «Марий Чодра» с разделением на функциональные зоны и лесные квартала

Территория Национального парка разделена на 5 функциональных зон: зона заповедного режима (7590 га), особо охраняемая зона (4772 га), зона экстенсивной рекреации (11248 га), зона интенсивной рекреации (12039 га), зона хозяйственного назначения (1226 га). Наибольшее количество пожаров на-

блюдается в зоне интенсивной рекреации. Именно в этой зоне вблизи от транспортных путей находятся наиболее освоенные водные объекты отдыха, а также достопримечательности Национального парка и туристические маршруты. В зоне заповедного режима наличие пожаров минимально. Доступ насе-

ления туда запрещен, и все возгорания были от грозовой деятельности.

На пространственном графике (рис. 2) четко просматривается влияние обоих рейтинговых мест  $i$  и  $j$  на распределение лесных пожаров за многолетний период.

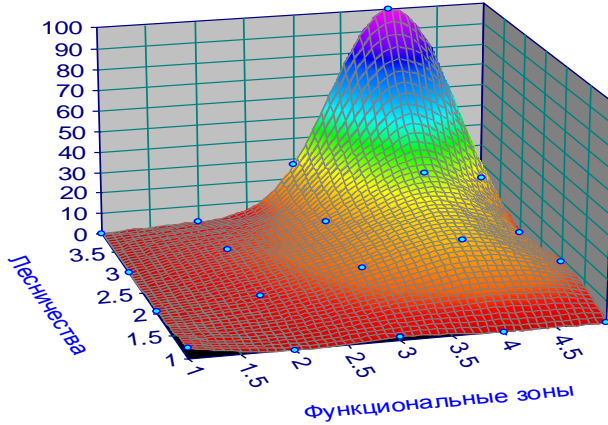


Рис. 2. Пространственный график изменения общей численности лесных пожаров за 1982-2009 гг. в зависимости от рейтинговых мест функциональных зон и лесничеств

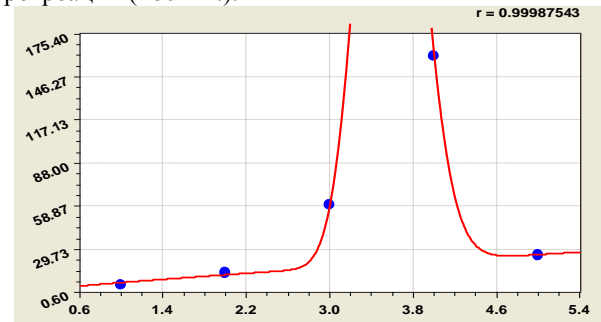
Общая модель распределения количества всех пожаров по функциональным зонам (последняя строка таблицы 1) характеризуется (рис. 3) двухчленным уравнением

$$N_i = 6,50859 \exp(0,27909i) + 2,21723i^{164,4702} \exp(-46,17848i) \quad (1)$$

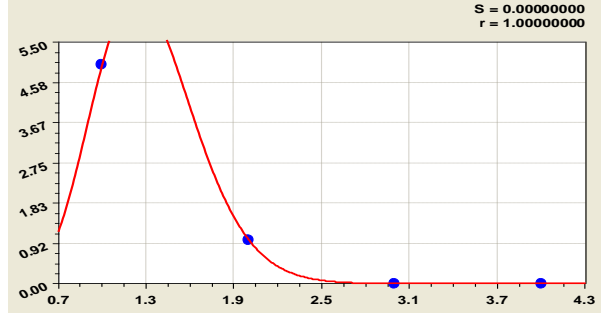
где  $N_i$  - количество лесных пожаров всего, шт.,  $i$  - рейтинговое место функциональной зоны.

Наибольшее количество пожаров в целом по парку наблюдается в промежутке  $i$  от трех до четырех. Место 3 соответствует зоне экстенсивной рек-

реации (60 пожаров), а точка 4 - зоне интенсивной рекреации (160 шт.).



Распределение пожаров по функциональным зонам

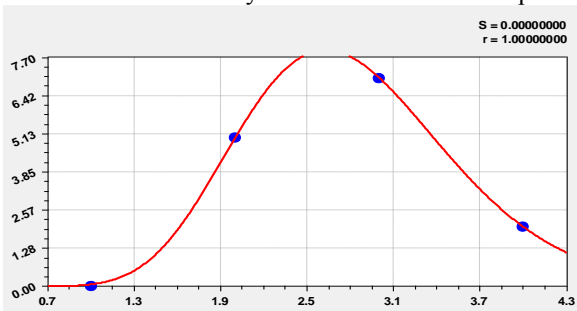


Распределения пожаров по заповедному режиму

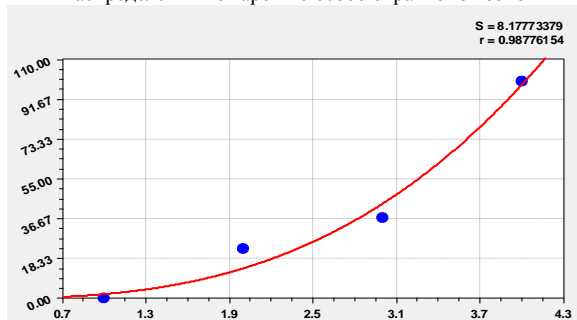
Рис. 3. График распределения многолетних лесных пожаров

Наименьшее количество пожаров наблюдается в зоне заповедного режима (6 шт.).

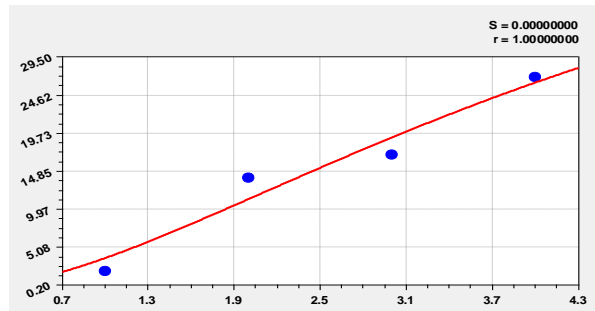
По отдельным функциональным зонам, в зависимости от рейтингового места  $j$  лесничества, графики изменения численности лесных пожаров даны на рисунке 4.



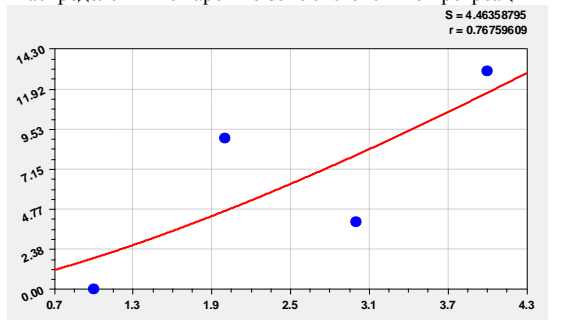
Распределения пожаров по особо охраняемой зоне



Распределения пожаров по зоне интенсивной рекреации



Распределения пожаров по зоне экстенсивной рекреации



Распределения пожаров по зоне хозяйственного назначения

Рис. 4. График распределения многолетних лесных пожаров по четырем функциональным зонам территории заповедника

в зависимости от рейтинговых мест лесничеств

**Распределение лесных пожаров по лесничествам.** Национальный парк поделен на 4 лесничества: Керебеляжское, Лушкарское, Кленовогорское, Яльчинское. Самое большое по площади лесничество - Кленовогорское, его площадь 10397 га. Площадь Керебеляжского лесничества составляет 9888 га, Лушмарского - 8885 га, Яльчинского - 7705 га.

На рисунке 5 изображены границы четырех лесничеств национального парка.

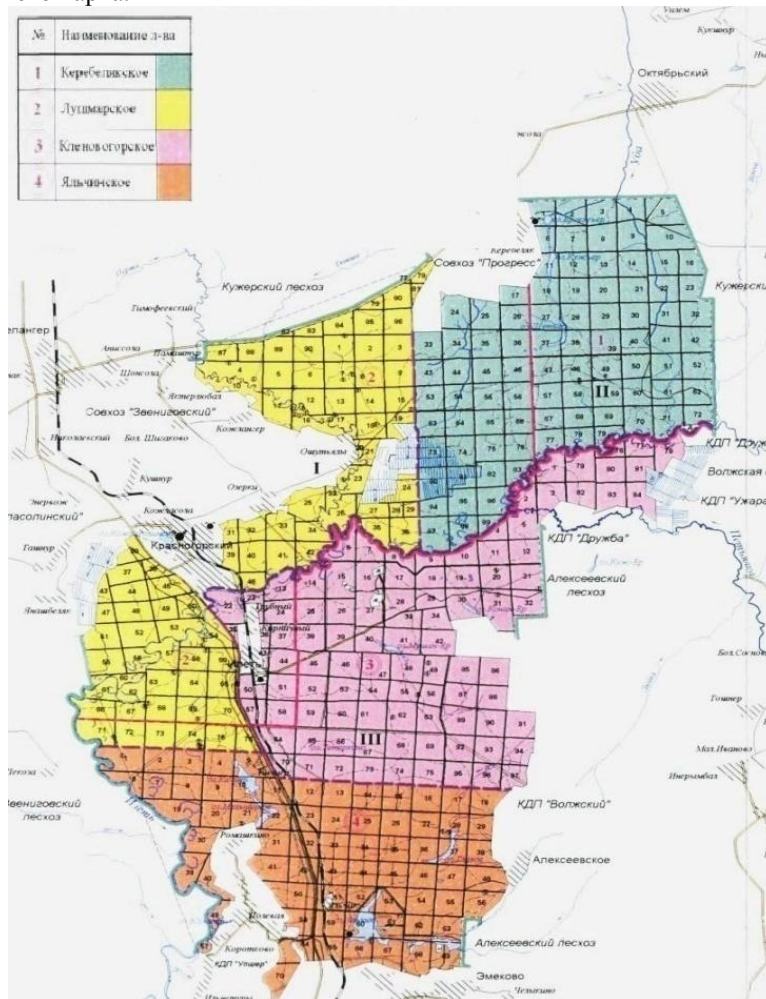


Рис. 5. Карта-схема административного распределения лесничеств в ФГУ «Национальный парк «Мари́й Чо́дра» без учета рейтинговых мест

В целом по всем функциональным зонам распределение лесничеств по количеству пожаров подчиняется (рис. 6) формуле

$$N_j = 10,06720 j^{1,88425} \quad (2)$$

где  $N_j$  - количество лесных пожаров по всем функциональным зонам, шт.,  $j$  - рейтинговое место лесничества.

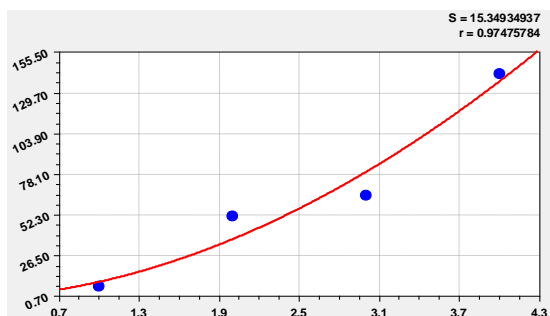


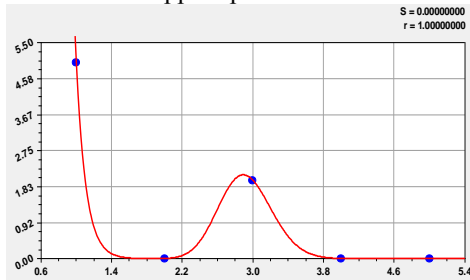
Рис. 6. График распределения общей численности лесных пожаров за 1982-2009 гг. по лесничествам с учетом их рейтинговых мест

Заметно, что остатки после формулы имеют волновой характер. Это видно по отклонениям на рисунке 6 точек относительно среднестатистической линии. Поэтому, при количестве лесничеств более 7, возможна идентификация и волновых составляющих общей закономерности. Распределение лесных пожаров за период 1987-2009 гг. по отдельным лесничествам показано на рисунке 7.

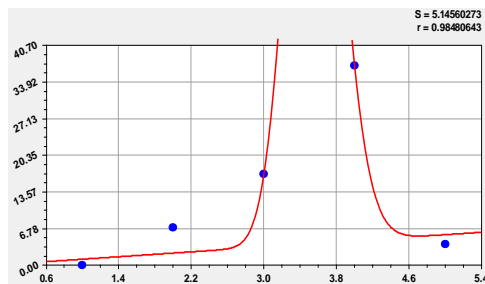
**Заключение.** Предлагаемый способ обладает простотой реализации, так как по фактическим прошлым многолетним данным о лесных пожарах на конкретной территории остается необходимо из алфавитного списка лесных предприятий (лесни-

чество) вначале располагать по рейтингу возрастания количества лесных пожаров, а затем провести физико-математический анализ статистической выборки по типу таблицы 1.

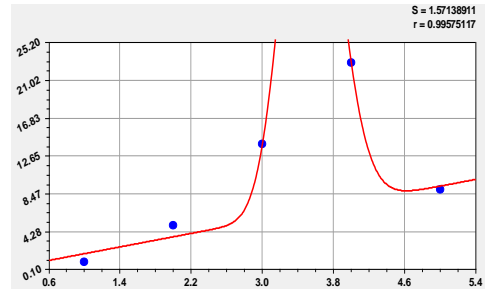
Применение предложенного способа расширяет возможности территориального экологического



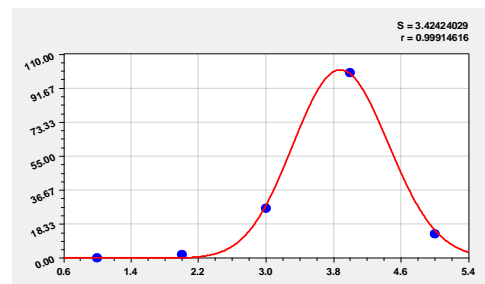
Пожары в Керебелякском лесничестве



Пожары в Лушмарском лесничестве



Пожары в Кленовогорском лесничестве



Пожары в Яльчикском лесничестве

Рис. 7. График распределения общей численности лесных пожаров за 1982-2009 гг. по каждому из четырех лесничеств в зависимости от рейтингового места функциональной зоны

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

прогнозирования и уточнения распределения лесных пожаров вдоль радиуса обзора, а также провести прогнозный расчет по ним значений параметров будущих лесных пожаров.

#### Библиографический список

1. 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. - N 1. - С.102-107.
2. 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. - N 15. - С.148-151.
3. 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. - N1 (6). - С.31-37.
4. 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. №2 (7). С.37-43.
5. 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. - N 5 – [электронный ресурс] - URL: <http://www.science-education.ru/111-10164> (дата обращения: 26.09.2013).
6. Мазуркин, П.М., Скорикова, Л.А. Динамика темпе-

#### References

1. Mazurkin, P.M., Blinova, K.S. Aktivnost Solntsa i godichnaya dinamika lesnykh pozharov na osobo oh-ranyaemoy territorii / P.M. Mazurkin, K.S. Blinova // Us-pehi sovremennogo estestvoznaniya. - 2013.- N 1. - S.102-107.
2. Mazurkin, P.M. Asimmetrichnyie veyvlet-signalny mnogoletney dinamiki chislennosti lesnykh pozharov Res-publiki Mariy El / P.M. Mazurkin, K.S. Blinova, A.V. Haziev // Vestnik Kazanskogo tehnol. un-ta.- 2013. - T. 16. - N 15. - S.148-151.
3. Mazurkin, P.M., Katkova, T.E. Modelirovanie mnogoletney dinamiki izmeneniya ploschadi lesnykh pozharov / P.M. Mazurkin, T.E. Katkova // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii. - 2013. - N1 (6). - S.31-37.
4. Mazurkin, P.M., Katkova, T.E. Analiz mnogolet-ney dinamiki udelnoy ploschadi lesnykh pozharov / P.M. Mazurkin, T.E. Katkova // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii. 2013. №2 (7). S.37-43.
5. Mazurkin, P.M., Katkova, T.E. Veyvlet-analiz mnogoletney dinamiki lokalnoy chislennosti lesnykh po-zharov / P.M. Mazurkin, T.E. Katkova // Sovremennyye pro-blemy nauki i obrazovaniya. - 2013. - N 5 – [elektronnyiy resurs] - URL: <http://www.science-education.ru/111-10164> (data obrascheniya: 26.09.2013).
6. Mazurkin, P.M., Skorikova, L.A. Dinamika temperatury goreniya drevesnykh opilok pri ispyitanii szhiganiem

ратуры горения древесных опилок при испытании сжиганием / П.М. Мазуркин, Л.А. Скорикова // Вестник КНИТУ. - 2011. - N 7. - С.58-61.

7. Мазуркин, П.М., Филонов, А.С. Математическое моделирование. Идентификация однофакторных статистических закономерностей: учеб. пособие / П.М. Мазуркин, А.С. Филонова. - Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. - 292 с.

8. Пат. 2406079 Российская Федерация, МПК G 01 N 25/00, G 01 N 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. - N 2009133872/28; заявл. 09.09.2009; опубл. 10.12.2010.

9. Пат. 2449272 Российская Федерация, МПК G 01 N 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. ун-т. - N 2009133878/15; заявл. 09.09.2009; опубл. 27.04.2012; Бюл. N 12.

10. Пат. 2416793 Российская Федерация, МПК G 01 N 33/46, A 62 C 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. - N 2009133875/12; заявл. 09.09.2009; опубл. 20.04.2011.

/ P.M. Mazurkin, L.A. Skorikova // Vestnik KNITU. - 2011. - N 7. - S.58-61.

7. Mazurkin, P.M., Filonov, A.S. Matematicheskoe modelirovanie. Identifikatsiya odnofaktornykh statisticheskikh zakonornostey: ucheb. posobie / P.M. Mazurkin, A.S. Filonova. - Yoshkar-Ola: MarGTU, 2006. - 292 s.

8. Pat. 2406079 Rossiyskaya Federatsiya, MPK G 01 N 25/00, G 01 N 33/46 (2006.01). Sposob ispyitaniya drevesnykh materialov po temperature sgoraniya / Mazurkin P.M., Kudryavtseva L.A. (RF); zayavitel i patentoobladatel Mariy-skiy gos. teh. un-t. - N 2009133872/28; zayavl. 09.09.2009; opubl. 10.12.2010.

9. Pat. 2449272 Rossiyskaya Federatsiya, MPK G 01 N 33/46, A 01 G 23/00 (2006.01). Sposob ispyitaniya drevesnykh materialov na goryuchest / Mazurkin P.M., Kudryavtseva L.A.; zayavitel i patentoobladatel Mariyskiy gos. teh. un-t. - N 2009133878/15; zayavl. 09.09.2009; opubl. 27.04.2012; Byul. N 12.

10. Pat. 2416793 Rossiyskaya Federatsiya, MPK G 01 N 33/46, A 62 S 3/02 (2006.01). Sposob ispyitaniya lesnykh goryuchih materialov na vosplamenaemost / Mazurkin P.M., Kudryav-tseva L.A., Egorova E.A. (RF); zayavitel i patentoobladatel Mariyskiy gos. teh. un-t. - N 2009133875/12; zayavl. 09.09.2009; opubl. 20.04.2011

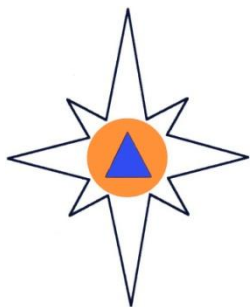
## ANALYSIS OF LONG-TERM FOREST FIRES BY FUNCTIONAL AREAS AND FORESTRY

**Mazurkin P.M.**

Volga State University of Technology;  
Ioshkar-Ola, Russia

*Thus these zones and forestry are accepted as territorial units and concerning them distribution of forest fires for the long-term period consider twice – on functional zones and forestry. Steady regularities of distribution also are shown twice, and ranging of rating places of functional zones carry out on growth of anthropogenic load of the woods, and rating places of forestry carry out on increase in number of forest fires. For increase of accuracy of the analysis data on last forest fires in 25 years and more are accepted.*

**Keywords:** forest fires, distributions, functional zones, forestry, regularities.



## СНИЖЕНИЕ РИСКОВ И ЛИКВИДАЦИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

УДК 502.58

### АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ВОД МЕСТНОГО СТОКА

**А.В. Калач, А.А. Чудаков, С.А. Золототрубов**

*Представлен метод прогнозирования и предупреждения чрезвычайных ситуаций, связанных с движением вод местного стока при таянии снега. Прогноз получен с применением разработанных оригинальных методов и программ для моделирования движения вод местного стока.*

**Ключевые слова:** *поверхностные воды, сток, рельеф местности, динамика таяния снега, датчик уровня.*

**Введение.** Для прогнозирования чрезвычайных ситуаций, связанных с движением поверхностных вод местного стока, возможно использовать систему контроля затопления населенных пунктов с применением комплекса гидростатических датчиков уровня воды, которые в количестве 3–10 единиц размещаются на местности, подверженной высокому риску затопления.

При разработке систем прогноза затопления приведем два определенных географических участка, расположенных в Воронежской области. Для первого примера выбрана окрестность населенного пункта Средний Икорец, для второго примера выбрана окрестность села Шуберское. И в той и в другой местности при весеннем таянии снега происходит затопление населенных пунктов и объектов инфраструктуры.

**Калач Андрей Владимирович**, доктор химических наук, доцент; Воронежский институт ГПС МЧС России; Россия, г. Воронеж, тел.: (473) 236-33-05, e-mail: AVKalach@gmail.com

**Чудаков Александр Александрович**, Воронежский институт ГПС МЧС России; Россия, г. Воронеж, e-mail: vigps@mail.ru

**Золототрубов Сергей Александрович**, начальник отдела организации пожаротушения управления организации пожаротушения и проведения аварийно спасательных работ ГУ МЧС России по Воронежской области

Гидростатические датчики уровня воды устанавливаются в зависимости от рельефа местности и конфигурации участков водосбора. Для быстрого восстановления рельефа заданной местности, без проведения специальных измерений, целесообразно использовать программу для оцифровки топографической карты [1].

Для рассматриваемых примеров была проведена оцифровка географической карты и получена функция рельефа поверхности  $h(x, y)$  в дискретной форме в виде матрицы размером  $100 \times 100$  ячеек.

Также выбраны дугообразные сечения, проходящие по участкам с наибольшими локальными понижениями рельефа. Окружности, содержащие дуги, описываются уравнениями:

$$(x - 79)^2 + (y - 38)^2 = 57^2; \quad (1)$$

$$(x - 48)^2 + (y - 67)^2 = 20^2, \quad (2)$$

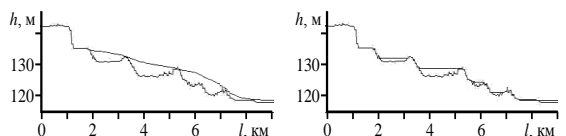
где  $x, y$  – декартовы координаты точки, принадлежащей окружности, измеряются в процентах от длины стороны квадрата, в котором производится моделирование. Для первого примера дуга на окружности лежит в диапазоне углов от  $144^\circ$  до  $259^\circ$ , для второго примера от  $25^\circ$  до  $151^\circ$ .

На основе разработанной программы для моделирования движения вод местного стока произведено моделирование быстрого таяния снега с первоначальной толщиной снежного покрова 0,25 м. [2]. Для исследуемых дуговых сечений построены профили затопления в день таяния снега и профили установившегося затопления (рис. 1,2).



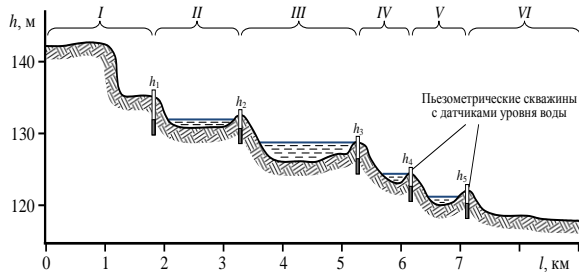
Линия сечения на исходной карте

Линия сечения на карте затопления



Профиль затопления в день таяния снега

Профиль установившегося затопления



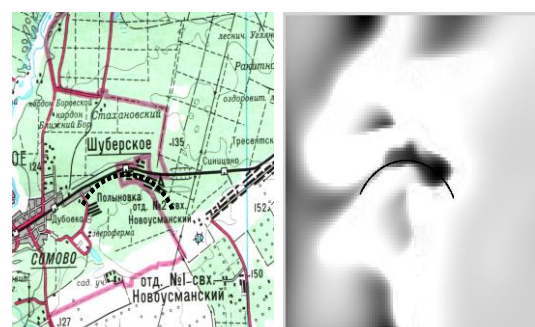
Предлагаемая схема размещения датчиков уровня воды

**Рис. 1.** Схема установки датчиков уровня воды вдоль каскада понижений рельефа в окрестности населенного пункта Средний Икорец Воронежской области

Датчики уровня воды целесообразно устанавливать между участками водосбора различного уровня. В частности, для окрестности населенного пункта Средний Икорец можно выделить шесть участков водосбора (отмечены римскими цифрами на рис. 1):

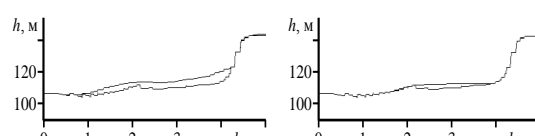
- I* – участок водосбора пруда Садовый;
- II* – верхняя часть пруда Садовый;
- III* – нижняя часть пруда Садовый;
- IV* – верхняя часть реки Топки;
- V* – нижняя часть реки Топки;
- VI* – устье реки Топки.

Гидростатические датчики могут быть размещены между участками водосбора. Так, на рис. 1 первый  $h_1$  размещен между *I* и *II* участками водосбора и контролирует уровень воды, движущейся к пруду Садовый. По его показаниям можно судить о начале весеннего заполнения пруда Садовый. Датчик  $h_2$  контролирует уровень воды в верхней части пруда Садовый. По показаниям этого датчика можно установить момент начала переливания верхней части пруда через плотину и, соответственно, начала быстрого наполнения нижней части пруда. Аналогично рассуждая, может быть обоснована польза установки остальных датчиков  $h_3 \dots h_5$ .



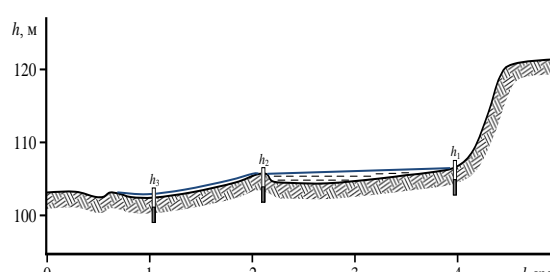
Линия сечения на исходной карте

Линия сечения на карте затопления



Профиль затопления в день таяния снега

Профиль установившегося затопления



Предлагаемая схема размещения датчиков уровня воды

**Рис. 2.** Схема установки датчиков уровня воды для прогнозирования затопления села Шуберское Воронежской области

**Автоматизированная система контроля состояния вод местного стока.** Для организации непрерывного контроля состояния вод местного стока в местности, подверженной высокому риску затопления, предлагается использовать следующую автоматизированную систему (рис. 3).

Уровень воды в ключевых точках местности контролируется системой датчиков уровня ( $h_1 \dots h_5$  на рис. 3). Информация от датчиков передается по радио- или проводным каналам в роутер, связывающий сеть одного уровня (сеть датчиков) с сетью другого уровня (сеть сотовой связи или сеть интернет).

От роутера информация передается в региональный пункт наблюдения в блок анализа поступающих данных, который производит алгоритмический анализ показаний датчиков, с целью прогнозирования возможного затопления населенных пунктов.

Прогноз поступает оператору на пункт контроля состояния вод местного стока. В случае высокой вероятности затопления населенных пунктов оператор передает информацию в Общероссийскую комплексную систему информирования и оповещения населения (ОКСИОН).

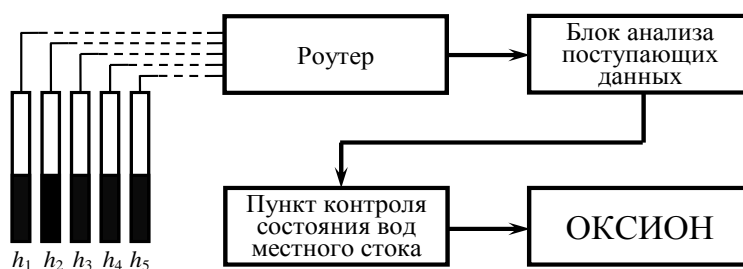


Рис. 3. Схема автоматизированной системы контроля состояния вод местного стока

**Оценка адекватности предлагаемой совокупности методов.** Для оценки адекватности предлагаемой совокупности методов произведем сравнительный анализ модельной и реальной карт затопления.

На рисунке 4, а, затемнена область установившегося затопления, прогнозируемая разработанной моделью. На рисунке 4, б, приведена область установившегося затопления села Шуберское, полученная картографированием реального затопления села в 2012 г. При совмещении модельной и реальной областей затопления можно заметить, что области имеют близкую конфигурацию, однако отличаются по площади (рис. 4, в).

В частности, совпадает:

- местоположение области затопления (центр села Шуберское);

- вытянутость области в направлении у, а также ее изогнутый характер;  
 - подтопление железной дороги в том же самом месте.

Несовпадение площадей областей затопления можно объяснить следующим:

- различием критериев определения границ области затопления (в модели затопление определялось как уровень воды более 10 см);
- различием сроков картографирования в модели и в реальности (время, прошедшее от даты полного таяния снега);
- в модели рельеф является более плавным, чем в реальности, так как рельеф восстановлен по ограниченному картографическим данным (линиям уровня).

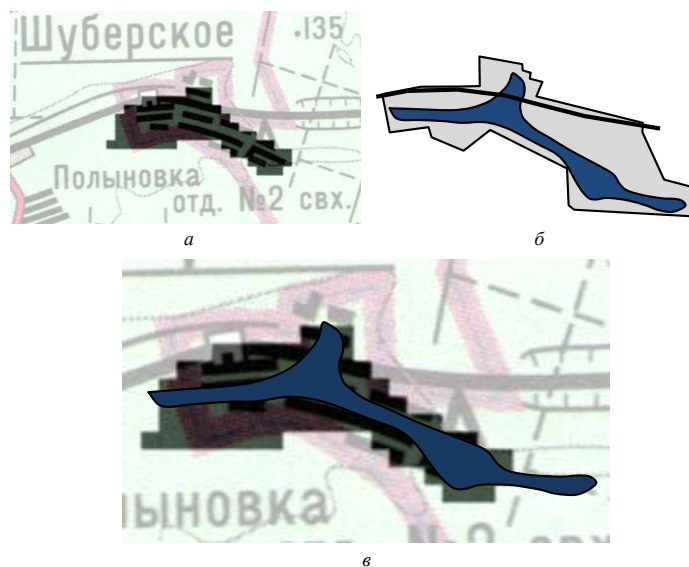
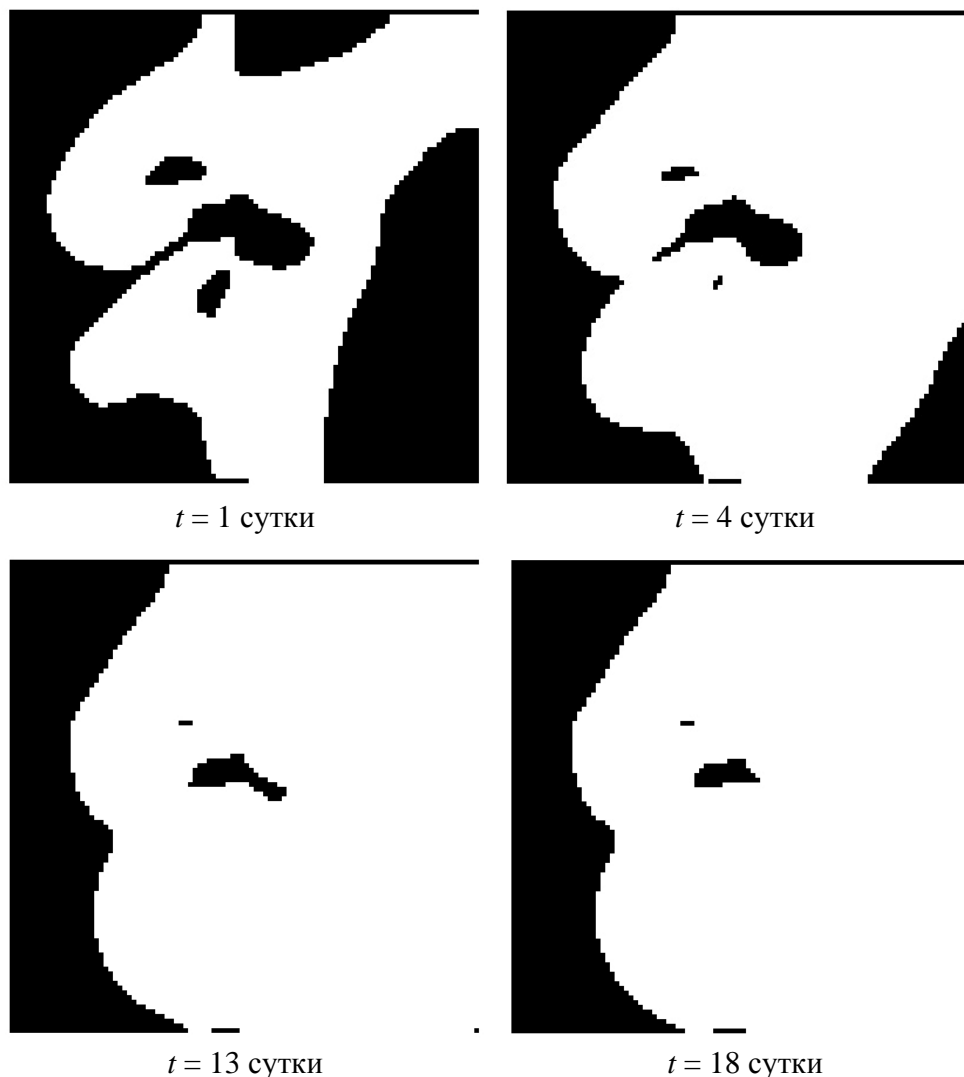


Рис. 4. Сравнение прогнозируемой и реальной области затопления села Шуберское:  
 а – прогнозируемая область затопления;  
 б – реально формирующаяся;  
 в – наложение предыдущих областей друг на друга.

**Выводы.** Таким образом, наблюдается хорошее совпадение результатов прогноза с реальной картой затопления.

Большим преимуществом разработанной совокупности методов является возможность прогнозировать эволюцию карты затопления (рис. 5).





*Рис. 5. Эволюция карты затопления села Шуберского и окрестности по мере ухода вод местного стока, образовавшихся в результате быстрого таяния снежного покрова. Время  $t$  указано с момента окончания таяния снега.*

По мере движения вод местного стока село Шуберское сначала испытывает существенное затопление, так как находится в центре области водосбора большой площади. При этом на карте затопления видно, что вода от села Шуберского отводит-

ся по низине в реку Усманка. По мере ухода воды, приблизительно к 15–20 суткам с начала затопления, село Шуберское практически освобождается от затопления.

#### Библиографический список

1. Калач, А.В. Метод восстановления рельефа местности на основе картографических данных для моделирования движения поверхностных вод / А.В. Калач, А.А. Чудаков, А.С. Мальцев, Е.В. Афанасьева // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2014.- №5. - С. 59-64.
2. Калач, А.В., Чудаков, А.А, Калач, Е.В. Математическое моделирование, затопления населенных пунктов при движении поверхностных вод местного стока / А.В. Калач, А.А. Чудаков, Е.В. Калач // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2014.- №2 (30). - С. 76-84.

#### References

1. Kalach, A.V. Metod vosstanovleniya relefa mestnosti na osnove kartograficheskikh dannykh dlya modelirovaniya dvizheniya poverhnostnykh vod / A.V. Kalach, A.A. Chudakov, A.S. Maltsev, E.V. Afanaseva // Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy. – 2014.- №5. - S. 59-64.
2. Kalach, A.V., Chudakov, A.A, Kalach, E.V. Matematicheskoe modelirovanie, zatopleniya naseleennykh punktov pri dvizhenii poverhnostnykh vod mestnogo stoka / A.V. Kalach, A.A. Chudakov, E.V. Kalach // Problemy upravleniya riskami v tehnosfere. – 2014.- №2 (30). - S. 76-84.

3. **Калач, А.В., Чудаков, А.А.** Система контроля затопления населенных пунктов / А.В. Калач, А.А. Чудаков // Системы управления и информационные технологии. – 2014. №1. – С. 69-73.

4. **Калач, А.В., Чудаков, А.А.** Прогнозирование затопления населенных пунктов / А.В. Калач, А.А. Чудаков // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. Гомельский инженерный инст. МЧС Республики Беларусь. – 2014. – № 1(9). – С. 71-77.

5. **Чудаков, А.А.** Верификация метода восстановления рельефа местности на основе картографических данных / А.А. Чудаков // Фундаментальные проблемы системной безопасности: материалы школы-семинара молодых ученых. – Елец: ЕГУ им. И.А. Бунина, 2014. – С. 255-260 с.

3. **Kalach, A.V., Chudakov, A.A.** Sistema kontrolya zatopeniya naseleennykh punktov / A.V. Kalach, A.A. Chudakov // Sistemy upravleniya i informatsionnyye tehnologii. – 2014. №1. – S. 69-73.

4. **Kalach, A.V., Chudakov, A.A.** Prognozirovaniye zatopeniya naseleennykh punktov / A.V. Kalach, A.A. Chudakov // Chrezvyichaynyye situatsii: obrazovanie i nauka. Gomelskiy inzhenernyiy inst. MChS Respubliki Belarus. – 2014. – № 1(9). – S. 71-77.

5. **Chudakov, A.A.** Verifikatsiya metoda vosstanovleniya relefa mestnosti na osnove kartograficheskikh dannyyh / A.A. Chudakov // Fundamentalnyye problemy sistemnoy bezopasnosti: materialy shkolyi-seminara molodyih uchenyyh. – Elets: EGU im. I.A. Bunina, 2014. – S. 255-260 s.

## AUTOMATED SYSTEM FOR MONITORING THE STATUS OF LOCAL WATER RUNOFF

**Kalach A.V.,**

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

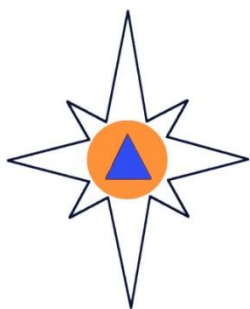
**Chudakov A.A.,**

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

**Zolotaryov S.A.** Department organization of the fire management organization of fire-fighting and emergency rescue EMERCOM of Russia in Voronezh region, e-mail: pboinp@yandex.ru

*Presents a method for prediction and prevention of emergency situations involving the movement of water and local runoff during snowmelt. The forecast obtained using the developed original methods and software for simulating the movement of water and local runoff.*

**Keywords:** surface water runoff, terrain, snow melt dynamics, level sensor.



## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

УДК 004.942

### ИГРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ

С.А. Голев

*Рассматриваются алгоритмы имитационного эксперимента организационных систем. Предприятие является источником техногенных и технологических рисков. Игроки моделируют поведение с учетом действия экономических механизмов. В работе дается описание алгоритмов игрового моделирования процесса управления механизмов штрафов предприятий.*

**Ключевые слова:** риск, эксперимент, алгоритм, игрок.

Для того чтобы опытным путем проверить полученные теоретические результаты и опыт предложения практиков в области создания и улучшения экономических регуляторов, предлагается применить метод игрового имитационного моделирования. Этот метод дает возможность производителям понять природу новых экономических механизмов и получить опыт для внедрения их на практике. Таким образом такой подход является инструментом, как для научных исследований, так и для обучения практических работников с последующим внедрением полученных научных результатов в хозяйственную деятельность.

Имитационная игра является инструментом при изучении работы некоторой организационной системы за фиксированный временной промежуток. При этом сам механизм функционирования организационной системы (например, при переходе к следующему этапу функционирования не меняется) остается неизменным, а заданный временной отрезок работы является одной партией. Решения в имитационной игре принимают как игроки, которые моделируют свое поведение с учетом действия экономических механизмов в каждой партии игры, так и руководитель игры (Центр), который формирует условия игры.

---

Голев Сергей Александрович,  
Воронежский институт ГПС МЧС России,  
Россия, Воронеж,  
e-mail: gsa-32@yandex.ru

---

В связи с бурным развитием в настоящее время робототехники проводятся имитационные игры, в которых функции части игроков выполняют автоматы. Это направление в имитационных играх получило название artificial players or robots. В нем гипотетический поведенческий алгоритм игрока зашифрован в компьютерной разработке (программе), а сам процесс принятия решения является формализованным.

Таким образом, данное направление дает гипотетическую возможность создать некоторую поведенческую человеческую модель. В данной поведенческой модели применяются, прежде всего, такие параметры человеческой индивидуальности, как мотивация экономической деятельности, а также цель хозяйственной деятельности и необходимые средства, с помощью которых можно достигнуть данной цели.

Разумеется, в настоящее время невозможно полное имитационное моделирование многообразия человеческого индивидуума. Но рассматриваемый случай формализуется значительно легче, т.к. поведение людей в сходных экономических ситуациях не отличается разнообразием.

Замена людей на автоматы в качестве экспертов (игроков) происходит в тех случаях, когда проводится научное исследование организационной системы, в которой невозможно провести ролевую игру из-за слишком большого количества контрагентов.

Имитационное моделирование имеет игровую идеологию, весьма сходную с игрой, в которой используются автоматы. В имитационной игре, в

которой функции игроков выполняют исключительно работы (что используется не слишком часто в настоящее время), проявляется имитационная модель субъекта хозяйственной деятельности. Таким образом, можно говорить о том, что построена

имитационная модель этого субъекта хозяйственной деятельности. Общая блок-схема алгоритма имитационного эксперимента с моделью организационной системы приведена на рис.1.

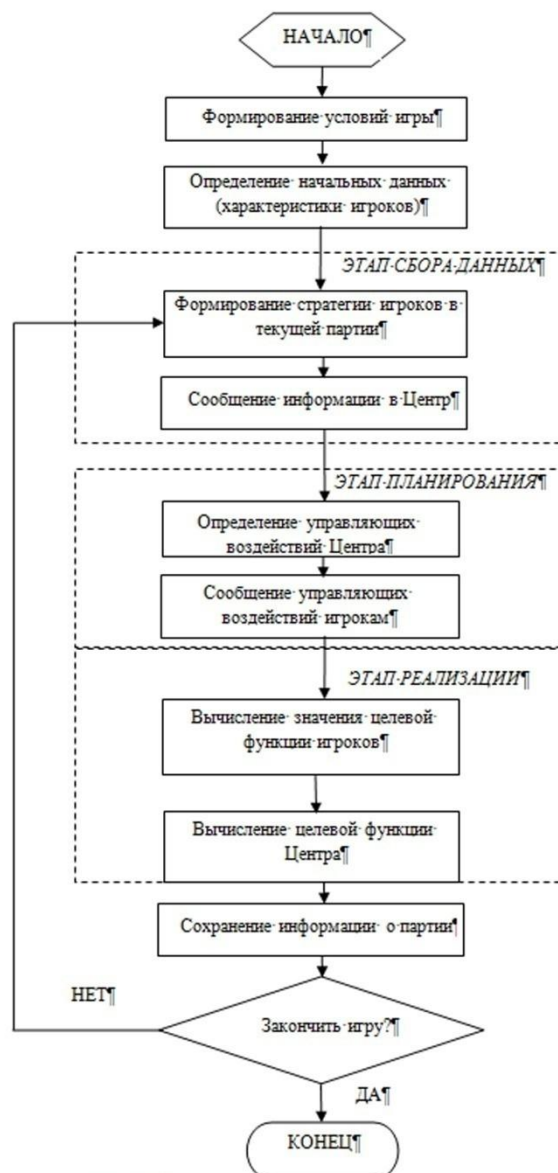


Рис. 1. Общая блок-схема алгоритма имитационного эксперимента

Процесс имитационного моделирования организации целесообразно применять в том случае, когда проводится много партий при изучении динамической составляющей игры или для определения параметров, описывающих качество функционирования системы в целом. Необходимость проведения игр с использованием автоматов диктуется быстродействием последних. Известно, что среднее время, которое необходимо человеку для принятия решения, составляет около минуты, а, следовательно, продолжительность одной партии в самой простой игре будет составлять порядка двух-трех ми-

нут. На выполнение той же работы автомату потребуется доля секунды.

Программы, которые используются в работах, создаются на основании некоего возможного поведения человека в конкретной моделируемой ситуации. Гипотетическое поведение человека в данной ситуации формируется как совокупное поведение реальных экспертов в игре, а затем это реализуется при формировании программы для работы в имитационной системе.

Процесс управления техногенными и экологическими рисками предполагает создание условий, когда предприятие, потенциальный источник

опасности, должно нести определенную финансовую нагрузку, то есть оно должно брать на себя ответственность, в том числе, и финансовую за создаваемые риски. Различные модели, обеспечивающие процесс управления техногенными и экологическими рисками, отличаются способами определения данной финансовой ответственности, то есть различные механизмы формируют правила увязки степени опасности и дополнительной финансовой нагрузки на предприятие.

Принципиальное отличие общего алгоритма проведения имитационного эксперимента, представленного на рис.1, от алгоритма проведения имитационных экспериментов для проверки эффективности механизма штрафов за превышение установленного уровня риска или необеспечения требуемого уровня безопасности заключается в том,

что здесь фактически отсутствует этап сбора данных. То есть в этих имитационных экспериментах отсутствует необходимость в формировании стратегии игроков и сообщении этой информации в Центр.

Это связано с тем, что основой для формирования управленческих воздействий – параметров механизма штрафов - является не информация, представляемая игроками, а фактический уровень безопасности, который формируется в регионе в результате функционирования предприятий.

В связи с этим блок-схема алгоритма проведения имитационных экспериментов для проверки эффективности механизма штрафов за превышение установленного уровня риска может быть представлена в виде, как изображено на рис. 2.

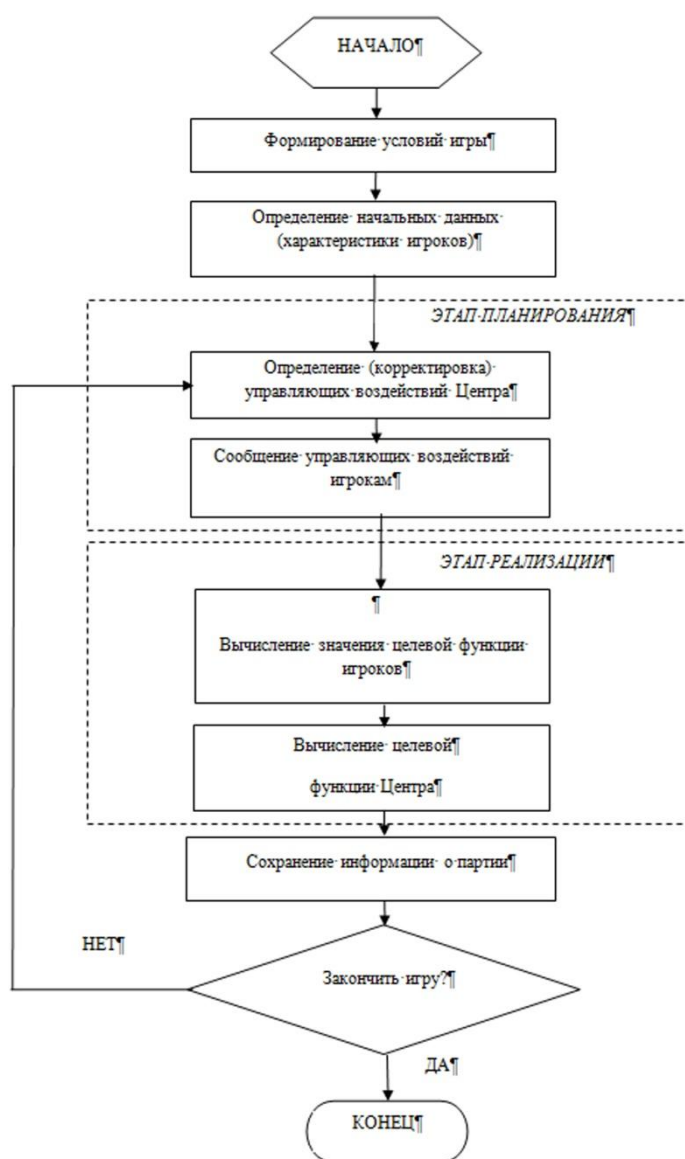


Рис. 2. Блок-схема алгоритма проведения имитационных экспериментов.

**Библиографический список**

1. **Половинкина А.И., Голев С.А.** Экспериментальное моделирование механизма совместного финансирования для снижения рисков / А.И. Половинкина, С.А. Голев // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. - 2012. - №1(2). - С. 5-8.
2. **Половинкина, А.И., Голев, С.А.** Разработка оптимизационного механизма штрафов для обеспечения уровня безопасности региона / А.И. Половинкина, С.А. Голев // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. - 2012. - №2(3). - С. 5-7.

**References**

1. **Polovinkina A.I., Golev S.A.** Eksperimentalnoe modelirovanie mehanizma sovmestnogo finansirovaniya dlya snizheniya riskov / A.I. Polovinkina, S.A. Golev // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii. - 2012. - №1(2). - S. 5-8.
2. **Polovinkina, A.I., Golev, S.A.** Razrabotka optimizatsionnogo mehanizma shtrafov dlya obespecheniya urovnya bezopasnosti regiona / A.I. Polovinkina, S.A. Golev // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii. - 2012. - №2(3). - S. 5-7.

**GAMES SIMULATION OF THE FUNCTIONING OF ORGANIZATIONAL SYSTEMS****Golev S.A.**

Voronezh Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia;  
Russia, Voronezh,  
e-mail: gsa-32@yandex.ru

*We consider the algorithms of simulation experiment of organizational systems. Enterprise is parental of technogenic and technological risks. Players simulate the behavior taking into account the effect of economic mechanisms. This paper presents a description of the algorithms gaming simulation process management mechanisms fines enterprises.*

**Key words:** risk, experiment, algorithm, player.

## ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗОНЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СНЕЖНОЙ ЛАВИНЫ

*А.С. Соловьев, А.В. Калач, А.В. Паринов*

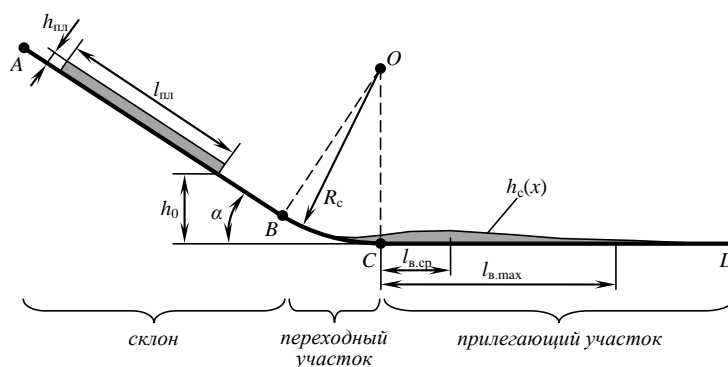
*Рассматриваются вопросы моделирования выноса снежных лавин на горизонтальную поверхность. Предложена модель на основе динамики сглаженных частиц. Модель позволяет воспроизвести широкий спектр явлений, происходящих при сходе, выносе и торможении лавины, учесть большое количество геометрических и физических параметров процесса, определить большое количество характеристик процесса: пространственных и временных распределений, числовых оценок.*

**Ключевые слова:** снег, лавина, горный склон, энергия.

**Введение.** При прогнозировании лавинной опасности очень важно иметь представление о возможных путях движения лавины и ее энергетических возможностях при выходе на горизонтальный участок местности. В этой связи была поставлена задача разработать высокоадекватную модель выноса лавины, позволяющую по начальному состоянию снежной массы, геометрическим параметрам склона и участка перехода от склона к прилегающей поверхности определить характер схода лавины, а также ее характеристики, позволяющие судить о степени опасности для объектов, расположенных на прилегающем участке.

В качестве таких характеристик могут быть выделены: средняя и максимальная дальности выбега лавины, кинетическая энергия лавины в различных участках прилегающего участка, время прихода лавины и время достижения максимальной кинетической энергии на прилегающем участке и др.

**Особенности моделирования зоны распространения лавины.** В основе модели выноса лавины лежит разработанная ранее модель зарождения и движения снежной лавины, основанная на методе динамики частиц [1-3]. Однако, если ранее опорная поверхность представлялась в двумерной модели наклонной прямой или совокупностью сплайнов [4], в данной поверхности состоит из трех участков (рис. 1):



**Рис. 1.** Геометрические параметры рельефа и снежной массы при решении задачи о дальности выброса лавины

**Соловьев Александр Семенович**, кандидат физ.-мат. наук, доцент, Воронежский институт ГПС МЧС России; Россия, г. Воронеж

**Калач Андрей Владимирович**, доктор химических наук, доцент, Воронежский институт ГПС МЧС России; Россия, г. Воронеж, тел.: (473) 236-33-05, e-mail: AVKalach@gmail.com

**Паринов Андрей Вячеславович**, Производственно-технический центр ФПС по Воронежской области; Россия, Воронеж.

- наклонной прямой (склон);  
- дуги окружности (переходный участок);  
- горизонтальной прямой (прилегающий участок). Перечисленные участки стыкуются между собой так, чтобы выполнялось условие непрерывности функции поверхности  $y(x)$  и непрерывности производной  $y'(x)$  функции  $y(x)$ . Для этого координаты базовых точек поверхности А, В, С, D, О (рис. 1) распределяются в пространстве следующим образом.

$$\begin{aligned}x_C &= 0; y_C = 0; \\x_D &= x_C + L_{\text{пл}}; y_D = 0; \\x_O &= 0; y_O = R_C;\end{aligned}$$

$$x_B = -R_C \sin \alpha; y_B = R_C - R_C \cos \alpha;$$

$$x_A = x_B - L_C \cos \alpha; y_A = y_B + L_C \sin \alpha$$

где  $L_{\text{ДУ}}$  – длина прилегающего участка (длина отрезка CD);  $R_C$  – радиус переходного участка;  $L_C$  – длина склона (длина отрезка AB).

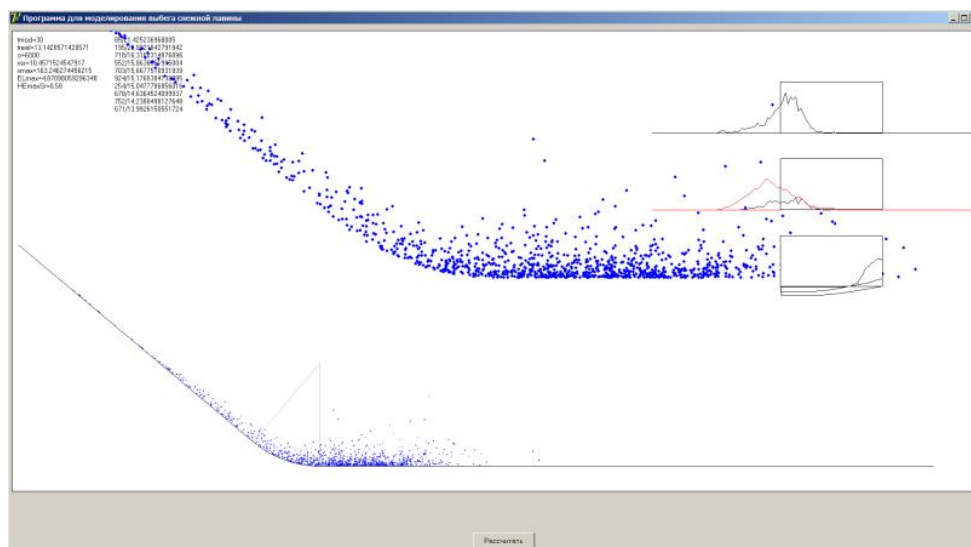
Так же как и в предыдущих моделях, элементы снега, помимо склона взаимодействуют между собой, поэтому после расчета силы на элемент со стороны склона производится расчет сил, действующих со стороны соседних элементов. Уравнения движения элементов и их численное интегрирование производятся также, как и ранее [5].

Снежная масса непосредственно после появления имеет параметры, исключающие ее движение и разгон. В определенном момент времени ( $t = 10$  с) от начала компьютерного эксперимента скачкообразно изменяется расстояние ограничения взаимодействия и коэффициент вязкого трения элементов снега. Благодаря этому снежная масса становится менее связанной и более подвижной, начинает двигаться по склону под действием сил тяжести, разгоняется, фрагментируется и в модели образует полноценная снежная лавина.

Под конусом выноса снежной массы понимается совокупность элементов снега с координатами  $x_i$  более  $x = 0$  (границей, определяющей вынос, является начало горизонтального участка – точка С на рис. 1).

*Движение снежной массы в процессе выноса*

*лавины.* Для компьютерной реализации метода моделирования и удобства исследования модели разработана компьютерная программа «Программа для моделирования конуса выноса лавины» на языке Object Pascal в интегрированной среде программирования Borland Delphi 7.0 (рис. 2). Программа предназначена для имитационного моделирования процессов схода и выноса лавины на поверхности заданной конфигурации и расчета основных физических характеристик распространяющейся лавины. При запуске программы на экране появляется множество окон ввода, позволяющих задать основные параметры снежной массы, опорной поверхности, компьютерного эксперимента. При этом на интерфейсную форму вынесены только основные параметры; значительная же часть параметров задается в тексте программы. В процессе работы программа непрерывно выводит на экран компьютера схематичное изображение поверхности и снежной массы в двух масштабах, графики распределения вдоль поверхности высоты снежного покрова, максимальной кинетической энергии, общей кинетической энергии вынесенной снежной массы, а также целый ряд числовых характеристик процесса распространения лавины. Программа рассчитана на использование компьютера не ниже Pentium 2,6 ГГц, объем оперативной памяти не менее 512 Мбайт; исходный текст программы имеет объем около 15 кбайт.



**Рис. 2.** Форма вывода результатов моделирования в «Программе для моделирования конуса выноса лавины»

Для базового компьютерного эксперимента выбраны следующие параметры рельефа и снежной массы:  $\alpha = 40^\circ$ ;  $R_C = 100$  м;  $h_0 = 50$  м;  $l_{\text{пл}} = 200$  м;  $h_{\text{пл}} = 40$  см;  $k_{\text{огр}} = 1,03$ ;  $k_{\text{в}} = 0,40$  Н·с/м. Такие параметры соответствуют небольшим лавинам, которые часто образуются в горной местности. Остановимся подробнее на результатах базового компьютерного эксперимента.

Исследуемый процесс целесообразно рас-

сматривать как состоящий из семи этапов.

Этап 1. Начальное состояние снежной массы (рис. 6.4,  $t = 0$  с). Снежная масса расположена неподвижно на склоне.

Этап 2. Начало движения снежной массы (рис. 6.4,  $t = 5$  с). В результате изменения физических параметров снега снежная масса теряет связность (как внутреннюю, так и со склоном) и начинает двигаться вниз.



Этап 3. Образование лавины (рис. 6.4,  $t = 8$  с). По мере ускорения снежной массы под действием сил тяжести происходит фрагментация снежного покрова и вовлечение его в сложное псевдогазообразное движение. К моменту достижения переходного участка лавина приобретает высокую кинетическую энергию.

Этап 4. Начало выбега лавины (рис. 6.4,  $t = 10$  с). Преодолевая переходный участок, снежная масса меняет направление движения, практически не теряя при этом кинетическую энергию, так как находится в псевдогазообразном состоянии.

Этап 5. Движение лавины по прилегающей поверхности (рис. 6.4,  $t = 12$  с). Под действием на-

копленной кинетической энергии лавина продолжает двигаться в горизонтальном направлении. Нижние слои лавины постепенно останавливаются и формируют снежный покров, верхние же слои, испытывая относительно низкую силу сопротивления, продолжают двигаться с высокой скоростью.

Этап 6. Затухание лавины (рис. 6.4,  $t = 17$  с). Постепенно снежная масса тормозится из-за взаимодействия с поверхностью прилегающего участка, и оседает.

Этап 7. Конечное состояние снежной массы (рис. 6.4,  $t = 36$  с). После полного торможения лавины переходный и прилегающий участки оказываются засыпанными снежной массой.

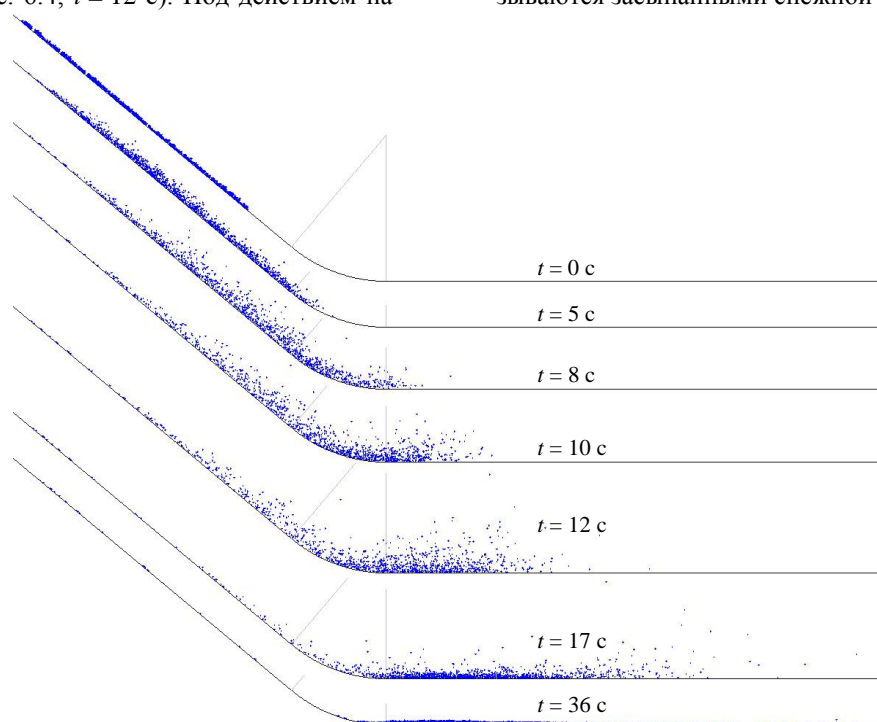
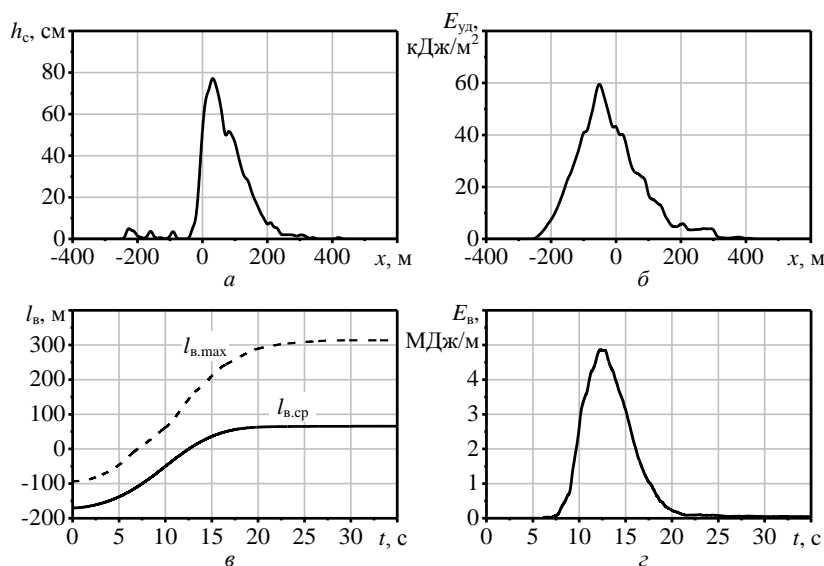


Рис. 3. Этапы схода и выноса лавины

В процессе базового компьютерного эксперимента получены графики первичных характеризующих функций (рис. 4), а также следующие числовые выходные показатели:  $l_{в.ср} = 66$  м;  $l_{в.макс} = 314$  м;  $t_{в} = 6,3$  с;  $t_{в.макс} = 12,3$  с;  $E_{в} = 4,87$  МДж/м;  $h_{Em} = 1,16$  м.

Анализируя первичные характеристики выноса лавины, можно сделать следующие выводы. Типичная лавина, реализуемая в базовом компью-

терном эксперименте, приводит к значительному засыпанию снегом прилегающей к склону территории. Так, судя по графику на рис. 4, а, около 100 м прилегающего участка имеют снежный покров высотой около 60 см. Начиная от расстояния  $x = 100$  м от начала горизонтального участка, высота снежного покрова постепенно уменьшается и к расстоянию  $x = 300$  м практически полностью исчезает.



**Рис. 4.** Первичные характеристики выноса лавины: а – распределение высоты снежного покрова после схода лавины вдоль линии выноса; б – распределение максимальной удельной кинетической энергии вдоль линии выноса; в – временная зависимость максимального  $l_{в,маx}$  и среднего  $l_{в,ср}$  расстояния выноса лавины; г – временная зависимость полной кинетической энергии лавины

Наибольшую удельную кинетическую энергию движущаяся снежная масса имеет в области переходном участке, о чем свидетельствует положение ( $x = -50$  м) пика зависимости  $E_{уд}(x)$ . Энергия снежной массы от расстояния выноса зависит приблизительно по экспоненциальному закону вида

$$E_{уд}(x) = E_0 e^{-k_{Еуд} x},$$

где  $E_0$  – удельная кинетическая энергия снежной массы в области  $x = 0$ ;  $k_{Еуд}$  – коэффициент, определяющий быстроту затухания кинетической энергии. Судя по полученным результатам, кинетическая энергия затухает примерно в три раза на каждые 100 метров выбега. Начиная с расстояния около 300 м удельная кинетическая энергия снежной массы составляет уже менее 1 % от максимальной энергии. Таким образом поражающее действие типичной лавины сосредоточено в пределах расстояния 300 м от подножия склона, и при этом резко уменьшается с расстоянием.

Смещение снежной массы в процессе движения может быть описано сигмоидальной функцией (рис. 4, в). Необходимо отметить, что центр тяжести снежной массы незначительно выходит на горизонтальный участок – приблизительно на 70 м (график  $l_{в,ср}(t)$ ). В то же время незначительная часть снежной массы выбрасывается на расстояние около 300 м (график  $l_{в,маx}(t)$ ). Судя по характеру выхода на насыщение данных графиков, снежная масса в целом останавливается к моменту времени  $t = 18$  с, однако наиболее высокоэнергетичные фрагменты снега еще продолжают двигаться ориентировочно до 25 с.

График зависимости полной энергии, распространяющейся по горизонтальному участку снежной массы, от времени  $E_в(t)$  имеет вид, близкий к гауссов-

скому, однако пик является несимметричным, с фронтом, более резким, чем спадом (рис. 4, г). При расчете энергии  $E_в$  не учитывается энергия снежной массы на склоне, еще не достигнувшей координаты  $x = 0$ . Судя по графику, вынос начинается ориентировочно через 7,5 с от момента начала движения снега; в течение нескольких секунд энергия резко возрастает и достигает максимума к моменту времени около 12,5 с. Благоприятным обстоятельством является то, что спад энергии происходит так же очень быстро: в течение примерно 7 секунд энергия выбежавшей снежной массы уменьшается более чем в 10 раз. Ориентировочно лавина оказывает поражающее действие в течение 12 секунд (с 8 по 20 секунду от момента начала движения снежной массы).

**Выводы.** В процессе компьютерного эксперимента удалось определить высоту наибольшего энергетического воздействия снежной лавины в начале горизонтального участка:  $h_{Ем} = 1,2$  м. Ориентируясь на это значение, можно ожидать, что выбегающая лавина оказывает «подрезающее» воздействие на объекты инфраструктуры (здания, хозяйственные постройки), оказывая наибольший удар в нижнюю их часть, и «сдвигающее» воздействие на людей, крупных животных и автотранспорт, оказывая наибольшее ударное воздействие в среднюю их часть.

Необходимо отметить широкие возможности разработанной модели выноса снежной лавины. Модель позволяет воспроизвести широкий спектр явлений, происходящих при сходе, выносе и торможении лавины, учесть большое количество геометрических и физических параметров процесса, определить большое количество характеристик процесса: пространственных и временных распределений, числовых оценок.

**Библиографический список**

1. Соловьев, А.С., Калач А.В. Математическое моделирование движения лавиноопасных снежных масс / А.С. Соловьев, А.В. Калач // Системы управления и информационные технологии. – 2014. – Т.56. – № 2. – С. 71 – 75.
2. Соловьев, А.С., Шагин, С.И., Калач, А.В. Корреляционный анализ параметров снежных лавин / А.С. Соловьев, С.И. Шагин, А.В. Калач // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». - 2014. - № 1. - С. 1-4.
3. Соловьёв, А.С., Калач, А.В. Определение зависимостей между параметрами снежной лавины на основе статистического анализа / А.С. Соловьев, А.В. Калач // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2013. – № 1. – С. 33–41.
4. Соловьев, А.С., Калач, А.В. Представление поверхности склона в модели схода снежной лавины / А.С. Соловьев, А.В. Калач // Вестник Воронежского института МВД РФ. – 2012. – № 4. – С. 92-96.
5. Соловьев, А.С. Некоторые закономерности схода снежных лавин на горных склонах различной формы / А.С. Соловьев, А.В. Калач, С.Л. Карпов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: системный анализ и информационные технологии. – 2013. – № 1. – С. 38 – 40.

**References**

1. Solovev, A.S., Kalach A.V. Matematicheskoe modelirovanie dvizheniya lavinoопасnykh snezhnykh mass / A.S. Solovev, A.V. Kalach // Sistemyi upravleniya i informatsionnyie tehnologii. – 2014. – T.56. – № 2. – S. 71 – 75.
2. Solovev, A.S., Shagin, S.I., Kalach, A.V. Korrelyatsionnyiy analiz parametrov snezhnykh lavin / A.S. Solovev, S.I. Shagin, A.V. Kalach // Nauchno-analiticheskiy zhurnal «Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhbyi MChS Rossii». - 2014. - № 1. - S. 1-4.
3. Solovev, A.S., Kalach, A.V. Opredelenie zavisimostey mezhd parametrami snezhnoy lavinyi na osnove statisticheskogo analiza / A.S. Solovev, A.V. Kalach // Pozharyi i chrezvyichaynyie situatsii: predotvraschenie, likvidatsiya. – 2013. – № 1. – S. 33–41.
4. Solovev, A.S., Kalach, A.V. Predstavlenie poverhnosti sklona v modeli shoda snezhnoy lavinyi / A.S. Solovev, A.V. Kalach // Vestnik Voronezhskogo instituta MVD RF. – 2012. – № 4. – S. 92-96.
5. Solovev, A.S. Nekotoryie zakonomernosti shoda snezhnykh lavin na gornyykh sklonah razlichnoy formy / A.S. Solovev, A.V. Kalach, S.L. Karpov // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: sistemnyiy analiz i informatsionnyie tehnologii. – 2013. – № 1. – S. 38 – 40.

**FEATURES OF MATHEMATICAL MODELLING  
ZONES OF DISTRIBUTION OF AVALANCHES**

**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

**Solovev A.S.,**  
Ph. D. in Engineering, Assoc. Prof.,  
Voronezh Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia,  
Russia, Voronezh

**Parinov Andrei V.,**  
Production and Technical Center FPS  
in the Voronezh region; Russia, Voronezh.

*The article deals with modeling the removal of avalanches on a horizontal surface. We propose a model based on smoothed particle dynamics. The model allows to reproduce a wide range of phenomena occurring at the gathering, removal and inhibition of avalanches, considering the large number of geometrical and physical parameters of the process, to identify a large number of characteristics of the process: the spatial and temporal distributions, numerical estimates.*

**Keywords:** snow, avalanche, mountain slope, energy.



## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПОЛЕТА КВАДРОКОПТЕРА

*Н.И. Попов, О.В. Емельянова, С.Ф. Яцун*

*В работе рассмотрены вопросы математического моделирования движения квадрокоптера, приведена его расчетная схема и составлены дифференциальные уравнения на основе общих теорем динамики.*

**Ключевые слова:** квадрокоптер, углы Эйлера-Крылова, матрица поворота.

**Введение.** Квадрокоптер – это летательный аппарат с четырьмя несущими винтами, вращающимися диагонально в противоположных направлениях. Он обладает рядом преимуществ, таких как: беспилотное управление, надежность, компактность, маневренность, малая взлетная масса при существенной массе полезной нагрузки. Благодаря простоте конструкции квадрокоптеры часто используются в любительском моделировании, удобны для недорогой аэрофото- и киносъемки — громоздкая камера вынесена из зоны действия винтов.

Первое миниатюрное радиоуправляемое судно было предложено 1898 году Николой Тесла. Вдохновленной этой идеей, в 1910 г. американский военный инженер из Огайо Чарльз Кеттеринг предложил модель летательного аппарата без человека.

В СССР в 1930-1940 гг. авиаконструктором Никитиным разрабатывался торпедоносец-планер специального назначения (ПСН-1 и ПСН-2) типа «летающее крыло» в двух вариантах: пилотируемый тренировочно-пристрелочный и беспилотный с полной автоматикой. К началу 1940 г. был представлен проект беспилотной летающей торпеды с дальностью полета от 100 км и выше (при скорости полета 700 км/ч).

**Попов Н.И.** кандидат тех. наук, Воронежский институт ГПС МЧС России, Россия, г. Воронеж.

**Емельянова О.В.**, кандидат тех. наук, ЮЗГУ, Россия, г. Курск; teormeh@inbox.ru.

**Яцун С.Ф.**, доктор тех. наук, ЮЗГУ, Россия, г. Курск, teormeh@inbox.ru

В 1944 году военными США в был применён впервые в мире классический ударный БПЛА — Interstate TDR. Однако дальше прототипов дело не продвинулось.

Новое рождение мультикоптеры получили в XXI веке. Современные мультикоптеры используют бесколлекторные электродвигатели и литий-полимерные аккумуляторы в качестве источника энергии. Это накладывает определенные ограничения на их полетные характеристики: типичный вес мультикоптера и время полета.

Для изучения основных закономерностей движения квадрокоптера рассмотрим математическую модель, описывающую пространственное движение летающего робота. Квадрокоптер – это электромеханическая система, корпус которой можно моделировать твердым телом с 6-ю степенями свободы [3].

**Математическая модель квадрокоптера.** Различные виды движения квадрокоптера было подробно описаны в [1, 3-7]. Пусть положение центра масс квадрокоптера  $C$  совпадает с началом подвижной системы координат  $CX_1Y_1Z_1$ , а в неподвижной декартовой системе координат описывается координатами  $X, Y, Z$  (рис.1).

Ориентацию в пространстве задают углы Эйлера-Крылова, которые обычно применяются в авиационной технике при описании движения аппарата и составляют так называемые углы: крена, тангажа и рысканья. Они соответствуют следующей последовательности поворотов:

1. Поворот на угол  $\psi$  относительно вертикальной оси  $OZ$  ( $R z, \psi$ ) — рыскание.

2. Поворот на угол  $\theta$  относительно главной поперечной оси инерции  $OY$  ( $R_{y,\theta}$ ) — тангаж.

3. Поворот на угол  $\varphi$  вокруг продольной оси  $OX$  ( $R_{x,\varphi}$ ) — крен.

При полёте квадрокоптера на него действуют аэродинамические силы несущих винтов  $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \vec{F}_4$ , приложенные к их центрам масс роторов  $A_1, A_2, A_3, A_4$  соответственно, и силы тяжести корпуса  $m_{CG}$  и винтов  $m_i g$  (рис. 1) [1-3], причем силы  $\vec{F}_i$  параллельны оси  $CZ_i$ .

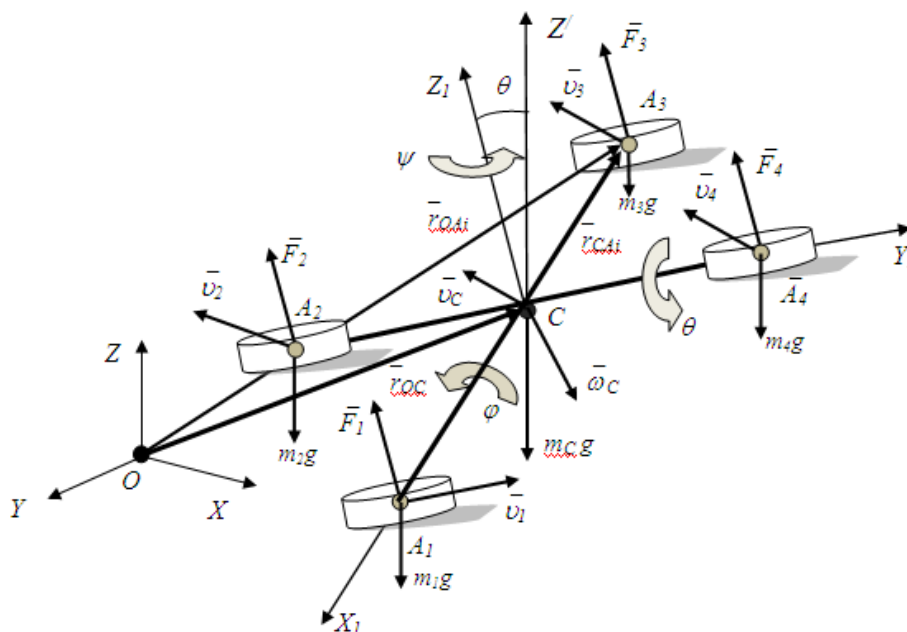


Рис. 1. Расчетная схема квадрокоптера

Положение центра масс квадрокоптера определяют координаты вектора  $r_{OC}=[X,Y,Z]^T$ . Условимся в дальнейшем системы координат  $OXYZ$  и  $CX_1Y_1Z_1$  понимать под символами  $(0)$  и  $(1)$  соответственно. Тогда векторы сил :

$$F_i^{(0)} = T_{10} \cdot F_i^{(1)} \quad (1)$$

где  $T_{10}$  - матрица перехода из  $(1)$  в  $(0)$  систему координат.

Результирующая матрица перехода получается путем перемножения трёх основных матриц вращения и имеет следующий вид:

$$T_{10} = (\psi, \theta, \varphi) = R(z, \psi) \times R(y, \theta) \times R(x, \varphi) = \begin{bmatrix} \cos\psi \cos\theta & \cos\psi \sin\theta \sin\varphi - \cos\psi \sin\psi & \sin\psi \sin\theta + \cos\psi \cos\theta \sin\varphi \\ \sin\psi \cos\theta & \cos\psi \cos\theta \sin\varphi + \sin\psi \sin\theta & \cos\psi \sin\theta - \cos\psi \sin\varphi \\ -\sin\theta & \cos\theta \sin\varphi & \cos\theta \cos\varphi \end{bmatrix} \quad (2)$$

Запишем очевидное равенство:

$$r_{OA_i}^{(0)} = \vec{r}_{OC}^{(0)} + \vec{r}_{CA_i}^{(0)} \quad (3)$$

где

$$\vec{r}_{CA_i}^{(0)} = T_{10} \cdot \vec{r}_{CA_i}^{(1)} \quad (4)$$

Векторы  $\vec{r}_{CA_i}^{(1)}$  для точек  $A_i$  имеют вид:

$$\vec{r}_{CA1}^{(1)} = \begin{bmatrix} l \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \vec{r}_{CA2}^{(1)} = \begin{bmatrix} 0 \\ -l \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \vec{r}_{CA3}^{(1)} = \begin{bmatrix} -l \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \vec{r}_{CA4}^{(1)} = \begin{bmatrix} 0 \\ l \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

где  $l$  – расстояние от центра масс квадрокоптера  $C$  до центра масс роторов  $A_i$ .

Скорости точек  $A_i$  определим, продифференцировав равенство (3) по времени:

$$\bar{v}_{A_i} = \frac{\bar{r}_{OA_i}^{(0)}}{dt} = \frac{\bar{r}_{OC}^{(0)}}{dt} + \frac{\bar{r}_{CA_i}^{(0)}}{dt} \quad (6)$$

С учетом равенства (4) получим:

$$\bar{v}_{A_i} = \bar{v}_C + \dot{T}_{10} \cdot \bar{r}_{CA_i}^{(1)} \quad (7)$$

где  $\bar{v}_C = \bar{i}\dot{X} + \bar{j}\dot{Y} + \bar{k}\dot{Z}$  – скорость центра масс квадрокоптера.

Количество движения  $i$ -ой массы определим по формуле:

$$\bar{q}_i = m_i \bar{v}_{A_i} = m_i (\bar{v}_C + \dot{T}_{10} \cdot \bar{r}_{CA_i}^{(1)}) \quad (8)$$

Изменение количества движения определим из выражения:

$$\frac{d\bar{q}_i}{dt} = m_i \left( \frac{d\bar{v}_C}{dt} + \ddot{T}_{10} \cdot \bar{r}_{CA_i}^{(1)} \right) = T_{10} \bar{F}_i^{(1)} \quad (9)$$

Вектор количества движения рассматриваемой системы, состоящей из корпуса и 4 винтов, определим по формуле:

$$\bar{Q} = m_C \bar{v}_C + \sum_{i=1}^4 m_{A_i} \bar{v}_{A_i} \quad (10)$$

Теорема об изменении количества движения механической системы в дифференциальной форме имеет вид:

$$\frac{d\bar{Q}}{dt} = m_C \frac{d\bar{v}_C}{dt} + \sum m_i \left( \frac{d\bar{v}_C}{dt} + \ddot{T}_{10} \cdot \bar{r}_{CA_i}^{(1)} \right) = (m_C + \sum m_i) \frac{d\bar{v}_C}{dt} + \ddot{T}_{10} \sum m_i \bar{r}_{CA_i}^{(1)} = T_{10} \sum \bar{F}_i^{(1)} \quad (11)$$

В проекциях на координатные оси уравнение (11) примет вид:

$$\begin{cases} (m_C + \sum m_i) \frac{d\bar{v}_C^X}{dt} = \sum F_{ix}^{(0)} \\ (m_C + \sum m_i) \frac{d\bar{v}_C^Y}{dt} = \sum F_{iy}^{(0)} \\ (m_C + \sum m_i) \frac{d\bar{v}_C^Z}{dt} = \sum F_{iz}^{(0)} \end{cases} \quad (12)$$

Здесь:

$$\sum \bar{F}_i^{(0)} = T_{10} \sum \bar{F}_i^{(1)} = |T_{10}| \begin{vmatrix} \sum F_{ix}^{(1)} \\ \sum F_{iy}^{(1)} \\ \sum F_{iz}^{(1)} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} (\sin \psi \sin \varphi + \cos \psi \cos \varphi \sin \theta) \cdot \sum F_i \\ (\cos \varphi \sin \psi \sin \theta - \cos \psi \sin) \cdot \sum F_i \\ \cos \varphi \cos \theta \cdot \sum F_i \end{vmatrix} \quad (13)$$

где

$$\bar{F}_1^{(1)} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ F_1 \end{vmatrix}, \quad \bar{F}_2^{(1)} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ F_2 \end{vmatrix}, \quad \bar{F}_3^{(1)} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ F_3 \end{vmatrix}, \quad \bar{F}_4^{(1)} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ F_4 \end{vmatrix} \quad (14)$$

$$\sum \bar{F}_i^{(1)} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ F_1 + F_2 + F_3 + F_4 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ \sum_{i=1}^4 F_i \end{vmatrix}$$

Тогда уравнение (13) с учетом (14) будет иметь вид:

$$\begin{cases} (m_C + \sum m_i) \frac{d\bar{v}_C^X}{dt} = (\sin \psi \sin \varphi + \cos \psi \cos \varphi \sin \theta) \cdot \sum F_i \\ (m_C + \sum m_i) \frac{d\bar{v}_C^Y}{dt} = (\cos \varphi \sin \psi \sin \theta - \cos \psi \sin) \cdot \sum F_i \\ (m_C + \sum m_i) \frac{d\bar{v}_C^Z}{dt} = \cos \varphi \cos \theta \cdot \sum F_i \end{cases} \quad (15)$$

или

$$\begin{cases} m\ddot{X} = (\sin \psi \sin \varphi + \cos \psi \cos \varphi \sin \theta) \cdot \sum F_i \\ m\ddot{Y} = (\cos \varphi \sin \psi \sin \theta - \cos \psi \sin) \cdot \sum F_i \\ m\ddot{Z} = \cos \varphi \cos \theta \cdot \sum F_i \end{cases} \quad (16)$$

Представленная система дифференциальных уравнений описывает изменение обобщенных координат квадрокоптера  $X, Y, Z$ .

Рассмотрим угловые скорости вращения роторов квадрокоптера в локальной системе координат  $CX_1Y_1Z_1$  (рис.2, 3). Для этого введем систему координат  $A_i x_i y_i z_i$ , которая совпадает с центром масс  $m_i$  роторов.

$$\bar{\Omega}_i = \bar{\omega}_i + \bar{\omega}_C, \quad i = 1..4; \quad (17)$$

$$\bar{\omega}_i = \bar{i}_i \omega_{ix} + \bar{j}_i \omega_{iy} + \bar{k}_i \omega_{iz}; \quad (18)$$

$$\bar{\omega}_C = \bar{i}_1 \omega_{CX1} + \bar{j}_1 \omega_{CY1} + \bar{k}_1 \omega_{CZ1}$$

где  $i_b, j_b, k_b$  и  $i_i, j_i, k_i$  - единичные векторы системы координат  $CX_1Y_1Z_1$  и  $A_i x_i y_i z_i$ ,  $\bar{\Omega}_i$  - абсолютная угловая скорость вращения  $i$ -ого ротора в системе координат  $CX_1Y_1Z_1$ ;  $\bar{\omega}_C, \bar{\omega}_i$  - векторы угловых скоростей вращения корпуса и  $i$ -ого ротора в системе координат  $CX_1Y_1Z_1$  и  $A_i x_i y_i z_i$  определяются в виде:

$$\bar{\omega}_C = \begin{vmatrix} \omega_{X1} \\ \omega_{Y1} \\ \omega_{Z1} \end{vmatrix}, \quad \bar{\omega}_i = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ \omega_i \end{vmatrix}, \quad \bar{\Omega}_i = \begin{vmatrix} \omega_{x1} \\ \omega_{y1} \\ \omega_i + \omega_{Z1} \end{vmatrix} \quad (19)$$

или

$$\bar{\Omega}_i = \bar{i}_1 \Omega_x + \bar{j}_1 \Omega_y + \bar{k}_1 \Omega_z \quad (20)$$

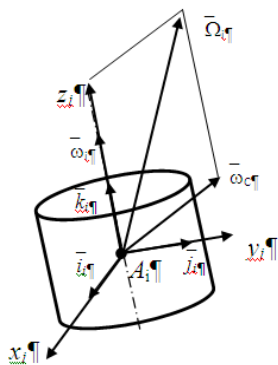


Рис.2. Схема для определения угловой скорости ротора при сложном движении

Определим момент количества движения ротора в системе координат  $A_i x_i y_i z_i$

$$\bar{L}_{iA_i} = \int_{m_i} (\bar{r}_i \times \bar{v}) dm_i \quad \text{или} \quad \bar{L}_{iA_i} = I_{Ai} \bar{\Omega}_i \quad (21)$$

где  $I_{iA_i} = \begin{vmatrix} J_{Ai}^x & 0 & 0 \\ 0 & J_{Ai}^y & 0 \\ 0 & 0 & J_{Ai}^z \end{vmatrix}$  - тензор инерции ротора. Тогда кинетический момент равен:

$$\bar{L}_{iA_i} = \begin{vmatrix} J_{A_i}^x & 0 & 0 \\ 0 & J_{A_i}^y & 0 \\ 0 & 0 & J_{A_i}^z \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \omega_{X_1} \\ \omega_{Y_1} \\ \omega_i + \omega_{Z_1} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} J_{A_i}^x \omega_{X_1} \\ J_{A_i}^y \omega_{Y_1} \\ J_{A_i}^z (\omega_i + \omega_{Z_1}) \end{vmatrix} \quad (22)$$

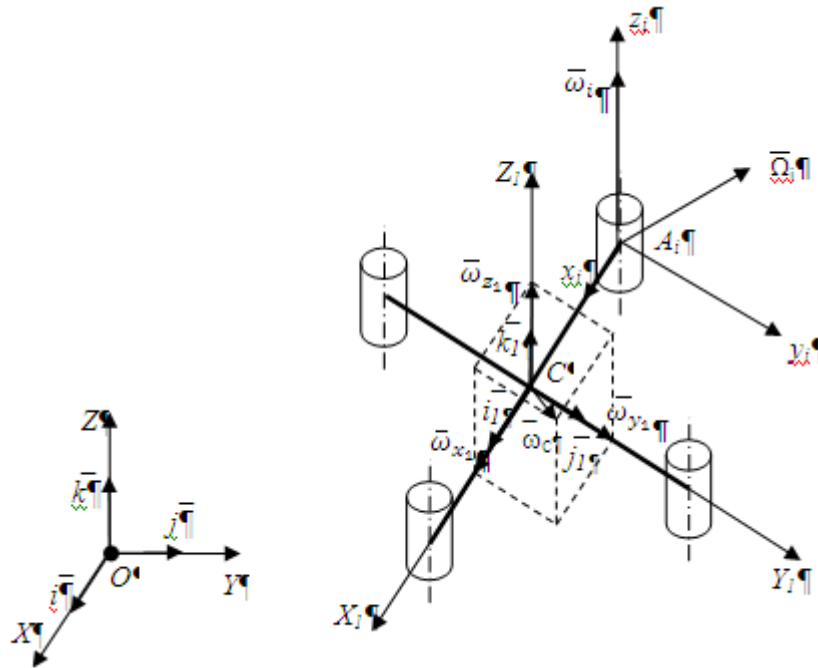


Рис. 3. Расчетная схема определения кинетического момента квадрокоптера

Определим момент количества движения в системы:

$$\bar{L} = \bar{L}_C + \sum \bar{L}_i \quad (23)$$

где  $\bar{L}_C = I_C \bar{\omega}_C$  - кинетический момент относительно центра масс квадрокоптера;

$\bar{L}_i = I_i \bar{\Omega}_i = (I_{A_i} + ml^2) \bar{\Omega}_i$  - кинетический момент  $i$ -го ротора относительно центра масс квадрокоптера в системе координат  $CX_1Y_1Z_1$  (в соответствии с теоремой Гюйгенса).

Тензоры инерции корпуса  $I_C$  и  $i$ -го ротора  $I_i$  с учетом того, что главные оси инерции механической системы являются главными центральными осями инерции (все центробежные моменты инерции равны нулю) равны:

$$I_C = \begin{vmatrix} J_C^{X_1} & 0 & 0 \\ 0 & J_C^{Y_1} & 0 \\ 0 & 0 & J_C^{Z_1} \end{vmatrix}; \quad I_i = \begin{vmatrix} J_{A_i}^x + m_i l^2 & 0 & 0 \\ 0 & J_{A_i}^y + m_i l^2 & 0 \\ 0 & 0 & J_{A_i}^z + m_i l^2 \end{vmatrix} \quad (24)$$

Тогда:

$$\bar{L}_C = \begin{vmatrix} J_C^{X_1} & 0 & 0 \\ 0 & J_C^{Y_1} & 0 \\ 0 & 0 & J_C^{Z_1} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \omega_{X_1} \\ \omega_{Y_1} \\ \omega_{Z_1} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} J_C^{X_1} \omega_{X_1} \\ J_C^{Y_1} \omega_{Y_1} \\ J_C^{Z_1} \omega_{Z_1} \end{vmatrix} \quad (25)$$



$$\bar{L}_i = \begin{vmatrix} J_{A_i}^x + m_i l^2 & 0 & 0 \\ 0 & J_{A_i}^y + m_i l^2 & 0 \\ 0 & 0 & J_{A_i}^z + m_i l^2 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \omega_{X_1} \\ \omega_{Y_1} \\ \omega_i + \omega_{Z_1} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} (J_{A_i}^x + m_i l^2) \omega_{X_1} \\ (J_{A_i}^y + m_i l^2) \omega_{Y_1} \\ (J_{A_i}^z + m_i l^2) (\omega_i + \omega_{Z_1}) \end{vmatrix} \quad (26)$$

С учетом (25), (26) выражение (23) будет иметь вид:

$$L = \begin{vmatrix} (J_C^{X_1} + \sum J_{A_i}^x + \sum m_i l^2) \omega_{X_1} \\ (J_C^{Y_1} + \sum J_{A_i}^y + \sum m_i l^2) \omega_{Y_1} \\ (J_C^{Z_1} + \sum J_{A_i}^z + \sum m_i l^2) \omega_{Z_1} + (\sum J_{A_i}^z + \sum m_i l^2) \omega_i \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} J^{X_1} \omega_{X_1} \\ J^{Y_1} \omega_{Y_1} \\ J^{Z_1} \omega_{Z_1} + \sum J_i^z \omega_i \end{vmatrix} \quad (27)$$

где  $J^{X_1} = J_C^{X_1} + \sum J_{A_i}^x + \sum m_i l^2$ ,  $J^{Y_1} = J_C^{Y_1} + \sum J_{A_i}^y + \sum m_i l^2$ ,  $J^{Z_1} = J_C^{Z_1} + \sum J_{A_i}^z + \sum m_i l^2$ ,

$\sum J_i^z = \sum J_{A_i}^z + \sum m_i l^2$  - приведенные осевые моменты инерции.

Теорема об изменении кинетического момента механической системы:

$$\frac{d\bar{L}}{dt} = \frac{dL}{dt} + (\bar{\omega}_C \times \bar{L}) = \sum \bar{M}_C^e \quad (28)$$

$$\frac{d\bar{L}}{dt} = \begin{vmatrix} J^{X_1} \dot{\omega}_{X_1} + \omega_{Y_1} \omega_{Z_1} (J_i^{Z_1} - J^{Y_1}) + \omega_{Y_1} \sum J_i^z \omega_i \\ J^{Y_1} \dot{\omega}_{Y_1} + \omega_{X_1} \omega_{Z_1} (J^{X_1} - J_i^{Z_1}) - \omega_{X_1} \sum J_i^z \omega_i \\ J^{Z_1} \dot{\omega}_{Z_1} + J_i^z \dot{\omega}_i + \omega_{X_1} \omega_{Y_1} (J^{Y_1} - J^{X_1}) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} M_{X_1}^e \\ M_{Y_1}^e \\ M_{Z_1}^e \end{vmatrix} \quad (29)$$

В результате на основании (16) и (29) получаем систему дифференциальных уравнений, описывающие движение квадрокоптера:

$$\begin{cases} m\ddot{X} = (\sin \psi \sin \varphi + \cos \psi \cos \varphi \sin \theta) \cdot \sum F_i \\ m\ddot{Y} = (\cos \varphi \sin \psi \sin \theta - \cos \psi \sin \varphi) \cdot \sum F_i \\ m\ddot{Z} = \cos \varphi \cos \theta \cdot \sum F_i \\ J^{X_1} \dot{\omega}_{X_1} + \omega_{Y_1} \omega_{Z_1} (J_i^{Z_1} - J^{Y_1}) + \omega_{Y_1} \sum J_i^z \omega_i = M_{X_1}^e \\ J^{Y_1} \dot{\omega}_{Y_1} + \omega_{X_1} \omega_{Z_1} (J^{X_1} - J_i^{Z_1}) - \omega_{X_1} \sum J_i^z \omega_i = M_{Y_1}^e \\ J^{Z_1} \dot{\omega}_{Z_1} + J_i^z \dot{\omega}_i + \omega_{X_1} \omega_{Y_1} (J^{Y_1} - J^{X_1}) = M_{Z_1}^e \end{cases} \quad (30)$$

Систему уравнений (30) необходимо решать совместно с кинематическими соотношениями, выражающие проекции угловой скорости тела

на оси связанной системы координат через угловые скорости углов крена, тангажа и рысканья:

$$\begin{cases} \omega_{X_1} = \dot{\varphi} + \psi \sin \theta \\ \omega_{Y_1} = \dot{\psi} \cos \theta \cos \varphi + \dot{\theta} \sin \varphi \\ \omega_{Z_1} = \dot{\theta} \cos \varphi - \dot{\psi} \cos \theta \sin \varphi \end{cases} \quad (31)$$

Полученные системы уравнений (30), (31) необходимы для моделирования движения летающего робота.

**Выводы.** Предложена математическая модель квадрокоптера с учетом массогабаритных свойств четырёх электроприводов, снабженных редуктором. В дальнейшем планируется разрабо-

тать алгоритм численного решения нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих движение квадрокоптера по заданной траектории при наличии режима стабилизации положения системы в пространстве по трем углам  $\psi$ ,  $\theta$ ,  $\varphi$ . Также планируется создать адаптивный алгоритм, который заключается в использовании различных методик

стабилизации при различных режимах и условиях полёта. Решить задачу оптимального синтеза по

критерию быстродействия при перемещении квадрокоптера из одной точки в другую

#### Библиографический список

1. Емельянова, О.В., Попов, Н.И., Яцун, С.Ф. Моделирование движения квадроспирального летающего робота / О.В. Емельянова, Н.И. Попов, С.Ф. Яцун // Актуальные вопросы науки. Материалы VIII Международной научно-практической конференции – М.: Спутник+, 2013. - С.6-8.
2. Загордан, А.М. Элементарная теория вертолёт / А.М. Загордан. – М.: Военное издательство Министерства обороны Союза ССР, 1955.
3. Яцун, С.Ф., Емельянова, О.В., Попов, Н.И. Изучение движения квадрокоптера в вертикальной плоскости / С.Ф. Яцун, О.В. Емельянова, Н.И. Попов // Актуальные вопросы технических наук (II): материалы международной заоч. науч. конф. - Пермь: Меркурий, 2013. - С.66-69.
4. Bresciani, T. Modeling, identification and control of a quadrotor helicopter. Master's thesis, Department of Automatic control, Lund University, October 2008, p.170.
5. Tahar, M., Zemalache, K.M., Omari, A. Control of under-actuated X4-flyer using integral Backstepping controller. Przegląd elektrotechniczny (Electrical review), ISSN 0033-2097, R.87 NR 10/2011, pages 251-256.
6. Hoffmann F., Goddemeier N., Bertram T. Attitude estimation and control of a quadcopter/ The 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Taipei, Taiwan. October 2010, pages 1072-1077.
7. Tommaso, Bresciani. Modelling, Identification and Control of a Quadrotor Helicopter (Modelling, identifying och reglering av en quadrotor helikopter). Department of Automatic Control Lund University October 2008.

#### References

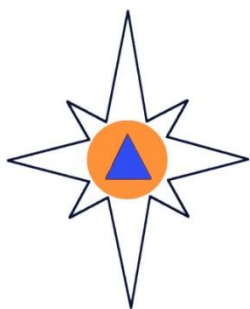
1. Emelyanova O.V., Popov N.I., Yatsun S.F. Modelirovanie dvizheniya kvadrorotatsionnogo letayu-shego robota / O.V. Emelyanova, N.I. Popov, S.F. Yatsun // Aktualnyie voprosyi nauki. Materialyi VIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii – М.: Sputnik , 2013. - S.6-8.
2. Zagordan A.M. Elementarnaya teoriya vertolYota / A.M. Zagordan. – М.: Voennoe izdatelstvo Ministerstva oboronyi Soyuz SSR, 1955.
3. Yatsun S.F., Emelyanova O.V., Popov N.I. Izuchenie dvizheniya kvadrokoptera v vertikalnoy ploskosti / S.F. Yatsun, O.V. Emelyanova, N.I. Popov // Aktualnyie voprosyi tehnikeskikh nauk (II): materialyi mezhdunarodnoy zaoch. nauch. konf. - Perm: Merkuriy, 2013. - S.66-69.
4. Bresciani T. Modeling, identification and control of a quadrotor helicopter. Master's thesis, Department of Automatic control, Lund University, October 2008, p.170.
5. Tahar M., Zemalache K.M., Omari A. Control of under-actuated X4-flyer using indegral Backstepping controller. Przegląd elektrotechniczny (Electrical review), ISSN 0033-2097, R.87 NR 10/2011, pages 251-256.
6. Hoffmann F., Goddemeier N., Bertram T. Attitude estimation and control of a quadcopter/ The 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Taipei, Taiwan. October 2010, pages 1072-1077.
7. Tommaso Bresciani. Modelling, Identification and Control of a Quadrotor Helicopter (Modelling, identifying och reglering av en quadrotor helikopter). Department of Automatic Control Lund University October 2008.

## MODELLING OF DYNAMICS OF FLIGHT OF A QUADROTOR HELICOPTER

**Popov N.I.**, Ph. D. in Engineering,  
Voronezh Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia;  
Russia, Voronezh  
**Emelianova O.V.**, South-West state university,  
teormeh@inbox.ru;  
**Jatsun S.F.** D. Sc. in Engineering,  
South-West state university,  
teormeh@inbox.ru.

*In work questions of mathematical modeling of movement of a quadrotor helicopter are considered, his settlement scheme is provided and the differential equations on the basis of the general theorems of dynamics are worked out.*

**Keywords:** modelling, identification and control of a quadrotor helicopter



## ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 502/504

### ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТБО

**М.В. Манохин, В.Я. Манохин, А.В. Попов**

*В статье анализируется проблема загрязнения окружающей среды твердыми бытовыми отходами (ТБО), что пагубно влияет на экологическую обстановку в мире. Рассматриваются технологии переработки ТБО и предлагаются новые методы их переработки и обезвреживания, которые должны учитывать технико-экономические, экологические и социальные факторы.*

**Ключевые слова:** твердые бытовые отходы (ТБО), технологии переработки ТБО, бытовой мусор, экологическая обстановка.

Ежегодно на Земле воспроизводится до 85 млрд. тонн органической биомассы, из которой человечеством используется не более 15-20%. В ряде стран их образование возросло до 0,6 - 0,75 тонн, а в урбанизированных районах - до 1 тонны на душу населения в год. В настоящее время в большинстве цивилизованных стран мира идет интенсивная работа по внедрению новых технологий, связанных с производством теплоэнергетических и топливных ресурсов, вырабатываемых из местных видов сырья (в первую очередь возобновляемых), а также из органической биомассы и отходов жизнедеятельности человека [1]. В промышленно-развитых странах сформировалась экологическая политика в отношении твердых бытовых отходов. Она является частью общей политики по резкому повышению энерго- и ресурсосбережения в сфере потребления и снижению техногенных воздействий на человека и природу [2-3].

Основу политики составляют два важных положения:

1. В современных условиях недопустимо бесконтрольное формирование количества, состава

ТБО, путей и технологий их переработки; все эти вопросы должны быть составной частью эколого-экономической национальной и региональной политики.

2. Современные технологии переработки ТБО должны обеспечивать максимальную регенерацию затрачиваемых на создание отходов энергетических и материальных ресурсов при их полной безопасности для населения и природы.

Наряду с этим бытовой мусор является ценным компонентом, так как в среднем из одной тонны можно получить 170 кг биогаза с 65% CH<sub>4</sub>, 410 кг сельскохозяйственного субстрата с 70% сухого продукта, 50 кг первого отсева грубых элементов и металлолома, 250 кг второго отсева (стекло, ткань, древесина, пластмасса), около 70% отсевов можно использовать для выработки тепла путем сжигания, пиролиза, газификации, получения специального топлива (RDF).

Все эти обстоятельства приводят к применению как ликвидационных, так и утилизационных приемов в отношении ТБО [4-6]:

- захоронение (складирование);
- переработка ТБО с извлечением ценных компонентов (пластмассы, черных и цветных металлов, стекла, бумаги и т.д.) и получения топливных гранул RDF;
- сжигание с использованием различных типов топок (слоевое сжигание, с роторными колосниками, с вращающейся колосниковой трубой, в кипящем слое и т.п.), использование вторичного топлива из отходов.
- компостирование;

**Манохин В.Я.**, доктор тех. наук, профессор, ВГАСУ; Россия, г. Воронеж, fellfrostqtw@gmail.com.

**Манохин М.В.**, аспирант, ВГАСУ; Россия, г. Воронеж, fellfrostqtw@gmail.com.

**Попов А.В.**, кандидат тех. наук; Воронежский институт ГПС МЧС России, Россия, г. Воронеж, west3000@mail.ru.

- пиролиз;
- термохимическая деструкция;
- газификация;
- производство биогаза.

Известно более 20 методов обезвреживания и утилизации ТБО. По каждому методу имеется 5-10 (по отдельным - до 50) разновидностей технологий, технологических схем, типов сооружений.

Методы переработки и обезвреживания разделяются на ликвидационные (решаются санитарно-гигиенические задачи) и утилизационные (решаются санитарно-гигиенические и экономические

задачи). По технологическому принципу они делятся на:

- биологические;
- химические;
- термические;
- механические;
- смешанные.

#### **Переработка ТБО за рубежом:**

##### *а) Развитые страны*

Данные по способам переработки ТБО в различных странах значительно различаются и представлены в Таблице.

Таблица

Страны	Количество ТБО, поступающих на переработку, %			
	Складирование полигонов	Сжигание	Компостирование	Прочие способы
Россия	97	2,3	0,7	-
Австрия	60	20	18	2
Бельгия	45	46	9	-
Великобритания	90	9	0,9	0,1
Венгрия	90	10	-	-
Дания	20	77,5	0,5	2
Италия	65	20	10	5
Канада	85	14	1	-
Нидерланды	40	40	19	1
США	85	14	0,1	0,9
Франция	40	47	12,1	0,9
Германия	60	35	5	-
Чехия+Словакия	90	8	2	-
Швейцария	5	75	10	6
Швеция	35	55	9,9	0,1
Япония	27	70	0,3	2,7

При выборе той или иной технологии учитываются технико-экономические, экологические, климатические и социальные факторы.

Технико-экономические факторы:

А. По приведенным затратам технология должна быть наиболее дешевой.

В. Максимальное использование ценных составляющих ТБО.

Экологические факторы:

С. Технология переработки ТБО должна быть экологически чистой.

Д. Конечные продукты переработки (компост, зола, RDF и т.д.) не должны наносить вред окружающей среде.

Климатические и социальные факторы:

Е. Наличие благоприятных климатических и социальных условий.

Для выбора наиболее оптимальной технологии переработки и утилизации ТБО в г. Воронеже рассмотрим следующие технологии (рис. 1):

1. Складирование.

2. Сжигание с утилизацией тепла.

3. Компостирование.

4. Производство RDF+компостирование.

5. Компостирование + сжигание некомпостируемых фракций.

6. Сортировка + аэробное компостирование.

7. Сортировка + анаэробное компостирование.

8. Сортировка + анаэробное компостирование + сжигание.

9. Пиролиз (проект ПАМЭТ).

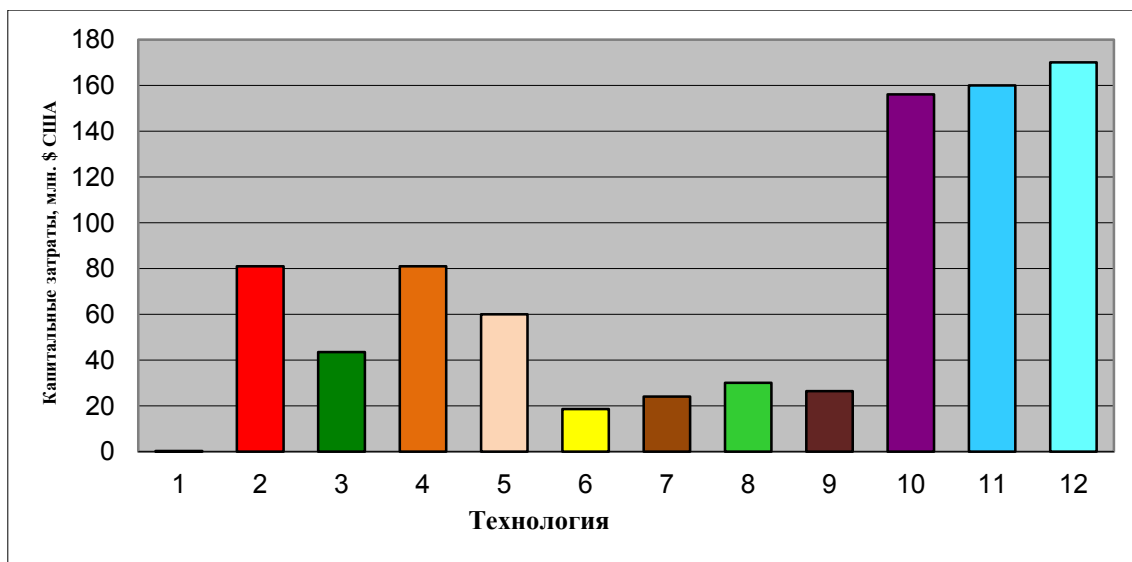
10. Процесс ОПГ (обработка паром и генерация, Консорциум «RCR Group»).

11. Получение биогаза.

12. Термохимическая деструкция.

**Капитальные затраты.** Затраты на строительство заводов по приведенным выше 12-ти технологиям были рассчитаны по укрупненным удельным технико-экономическим показателям.

Затраты определены в \$ США в расчете на переработку 1 тыс. тонн ТБО.

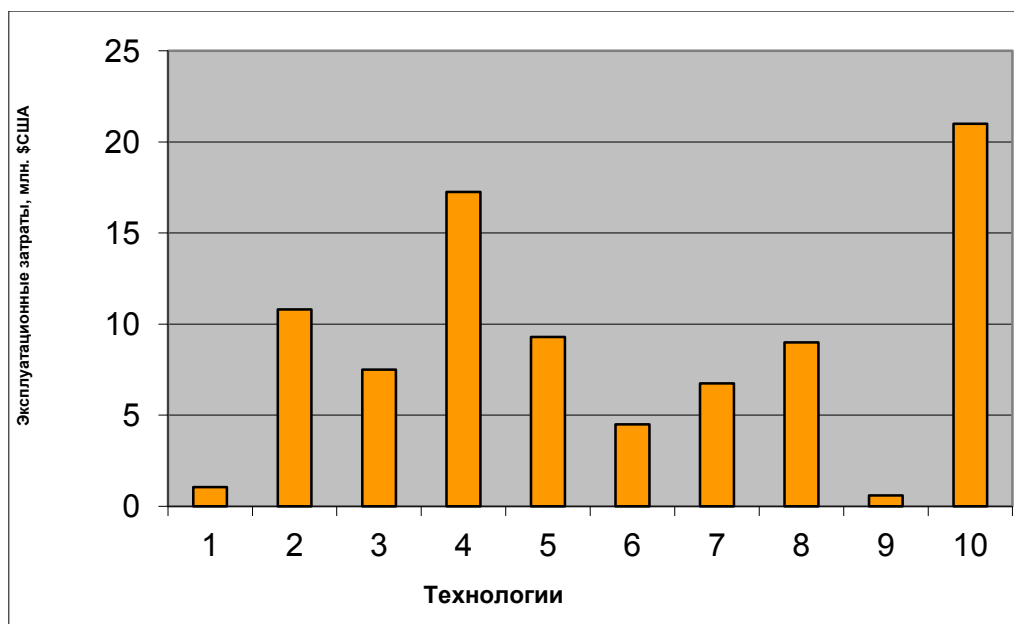


**Рис. 1.** Капитальные затраты при различных технологиях переработки ТБО:

1. Складирование;
2. Сжигание с утилизацией тепла;
3. Компостирование;
4. Произв. RDF+Компостирование;
5. Компостирование + сжигание некомпостируемых фракций;
6. Сортировка + аэробное компостирование;
7. Сортировка + анаэробное компостирование + сжигание;
8. Сортировка + анаэробное компостирование + сжигание;
9. Пиролиз РАМЭТ;
10. ОПГ;
11. Получение биогаза;
12. Термохимическая деструкция.

**Эксплуатационные затраты.** Эксплуатационные затраты (рис. 2) определялись по укрупненному удельному технико-экономическому показателю.

Затраты определены в \$ США в расчете на переработку 1 тыс. тонн ТБО.



**Рис. 2.** Эксплуатационные затраты при различных технологиях переработки ТБО:

1. Складирование;
2. Сжигание с утилизацией тепла;
3. Компостирование.
4. Произв. RDF+Компостирование;
5. Компостирование + сжигание некомпостируемых фракций;
6. Сортировка + аэробное компостирование;
7. Сортировка + анаэробное компостирование + сжигание;
8. Сортировка + анаэробное компостирование + сжигание;
9. Пиролиз РАМЭТ;
10. ОПГ.

**Утилизация выделенных продуктов.** В процессе работы предприятий по переработке ТБО возможно получить значительный объем полезных компонентов. Расчет проводим на производительность 300 тыс. т/год.

Ниже приводим диаграмму (рис. 3), на которой показаны возможные возвратные суммы, полученные от реализации попутной продукции при различных технологиях переработки ТБО.



**Рис. 3.** Реализация попутной продукции при различных технологиях переработки ТБО:

1. Складирование; 2. Сжигание с утилизацией тепла; 3. Компостирование.
4. Произв. RDF+Компостирование; 5. Компостирование + сжигание некомпостируемых фракций;
6. Сортировка + аэробное компостирование; 7. Сортировка + анаэробное компостирование;
8. Сортировка + анаэробное компостирование + сжигание;
9. Пиролиз ПАМЭТ; 10. ОПГ.

Экономические выгоды от реализации более передовых технологий существенно сокращаются из-за отсутствия в г. Воронеже системы селективного сбора отходов.

Технико-экономические и экологические факторы предполагают комплексное решение в

выборе технологии переработки ТБО: сортировка мусора (при отсутствии отдельного сбора), извлечение биогаза или термо-химическая деструкция горючих компонентов.

#### Библиографический список:

1. **Ivanova, I.A., Kolodyazhny, S.A., Manokhin, M.V.** The Problem of Analysis of Environmental Threat Criteria on Asphalt Concrete Plants//Scientifik Israel-Technological Advantages.-2012.-N2.P.44-50 (международная публикация).
2. **Манохин, М.В.** Проблемы обращения с твердыми бытовыми отходами в России / М.В. Манохин - VERLAG:LAP Lambert Akademik Publishing GMBH&CO. KG,2012. - 172 S.
3. **Манохин, В.Я., Иванова, И.А., Манохин, М.В.** Оптимальные решения проблемы обращения с ТБО / В.Я. Манохин, И.А. Иванова, М.В. Манохин // Сборник трудов IX Межрегиональной научно-практической конференции: «Экологическая безопасность нашего будущего» - Воронеж: Изд-во ВГУ, 2013. - С.140-143.
4. **Клыгина, Т.А., Балысова, В.А.** Проблема загрязнения окружающей среды твердыми бытовыми отходами / Т.А. Клыгина, В.А. Балысова // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. - 2013. - №4. - С.

#### References

1. **Ivanova, I.A., Kolodyazhny, S.A., Manokhin, M.V.** The Problem of Analysis of Environmental Threat Criteria on As-phalt Concrete Plants//Scientifik Israel-Technological Advantages.-2012.-N2.P.44-50 (mezhdunarodnaya publikatsiya).
2. **Manohin M.V.** Problemyi obrascheniya s tverdyimi byitovyimi othodami v Rossii / M.V. Manohin - VER-LAG:LAP Lambert Akademik Publishing GMBH&CO. KG, 2012. - 172 S.
3. **Manohin V.Ya., Ivanova I.A., Manohin M.V.** Op-timalnyie resheniya problemyi obrascheniya s TBO / V.Ya. Manohin, I.A. Ivanova, M.V. Manohin // Sbornik trudov IX Mezhregionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: «Ekologicheskaya bezopasnost nashego buduschego» - Voronezh: Izd-vo VGU, 2013. - S.140-143.
4. **Klygina, T.A., Balyisova, V.A.** Problema zagryazneniya okruzhayushey sredyi tvYordyimi byitovyimi othodami / T.A. Klygina, V.A. Balyisova //

13-15.

5. **Манохин, В.Я., Иванова, И.А. Манохин, М.В.** Проблемы обращения с ТБО на примере города Воронежа / В.Я. Манохин, И.А. Иванова, М.В. Манохин. - Воронеж: Изд-во ВГТУ. Часть II, 2013. - С.203-210.

6. **Манохин, В.Я., Манохин, М.В., Локтев, Е.М.** Основные проблемы обращения с ТБО в Воронежской области / В.Я. Манохин, М.В. Манохин, Е.М. Локтев // Сборник трудов 10-й международной научно-практической конференции. - Воронеж: Изд-во ВГТУ. - 2014.

Pozhary i chrezvyichaynyie situatsii: predotvraschenie, likvidatsiya. - 2013. - №4. – S. 13-15.

5. **Manohin V.Ya., Ivanova I.A. Manohin M.V.** Problemy obrascheniya s TBO na primere goroda Voronezha / V.Ya. Manohin, I.A. Ivanova, M.V. Manohin. - Voronezh: Izd-vo VGTU. Chast II, 2013. - S.203-210.

6. **Manohin V.Ya., Manohin M.V., Loktev E.M.** Osnov-nyie problemy obrascheniya s TBO v Voronezhskoy oblasti / V.Ya. Manohin, M.V. Manohin, E.M. Loktev // Sbornik trudov 10-y mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konfe-rentsii. - Voronezh: Izd-vo VGTU. - 2014.

## ENVIRONMENTAL ASSESSMENT TECHNOLOGY FOR THE PROCESSING OF SOLID WASTE

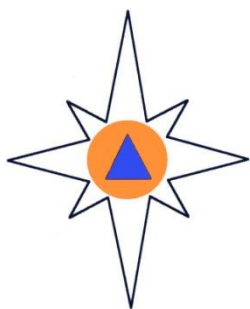
**Manokhin V. Ya.**, D. Sc. in Engineering, Prof.  
Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering;  
Russia, Voronezh, 8910-245-21-44, Manohinvya@mail.ru.

**Manokhin M.V.**, Ph. D.-student  
Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering;  
Russia, Voronezh,  
8-919-238-09-50, fellfrostqtw@gmail.com

**Popov A.V.** Ph. D. in Engineering,  
Voronezh Institute of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia.  
Russia, Voronezh,  
8-910-349-50-47, west3000@mail.ru.

*The article analyzes the problem of environmental pollution by solid waste (MSW), which has a detrimental effect on the environment in the world. Considered solid waste processing technology and offers new methods of recycling and disposal, which should take into account technical, economic, environmental, and social factors.*

**Keywords:** *municipal solid waste (MSW) processing technology of solid waste, household waste, environmental conditions.*



## ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 542.61

### ВЛИЯНИЕ СОСТАВА БИНАРНЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ ТЕТРАХЛОРМЕТАНА НА ИХ ПОЖАРНУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ

**М.А. Преображенский, А.М. Черепяхин, О.Б. Рудаков**

*Сформулированы виды пожарных рисков, возникающих при использовании тетра-хлорметана и растворов на его основе, и определены относительные их веса в целевой функции. Определены физико-химические процессы, приводящие к реализации пожарных рисков и особая роль кипения в динамике развития пожарной ситуации. Построены двухпараметрические сигмоидные функции пожарного риска и определены границы отрезков, на которые разбиваются области допустимых значений этой функции. Определена зависимость пожарного риска от молярных концентраций компонентов раствора тетрахлорметан – органический растворитель.*

**Ключевые слова:** пожарный риск, тетрахлорметан, кипение, целевая функция.

**Введение.** Практическое применение ФЗ от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ [1], устанавливающего нормативные значения пожарных рисков, в соответствии с методикой [2] требует определения расчетных величин пожарного риска и ее последствий для людей, и сопоставления их с нормативными значениями. В соответствии с п. 3.3.2. методических указаний [2] для определения возможных сценариев возникновения и развития пожаров необходимо использовать метод логических деревьев событий, являющегося практическим применением теории ациклических неориентированных графов [3]. Исходными вершинами логических деревьев являются пожароопасные ситуации для каждого технологического процесса, которые могут вызвать возникновение аварии с пожаром с дальнейшим его развитием.

Определение набора пожароопасных ситуаций требует формулирования полного перечня причин, возникновение которых позволяет характеризовать ситуацию как пожароопасную.

**Михаил Артемьевич Преображенский**, кандидат физ.-мат. наук, ВГАСУ, Россия, г. Воронеж; pre4067@yandex.ru, (473)222-70-17;

**Александр Михайлович Черепяхин**, ВГАСУ, Россия, г. Воронеж

**Олег Борисович Рудаков**, доктор химических наук, профессор, ВГАСУ, Россия, г. Воронеж; rudakov@vgsu.vrn.ru, (473)271-50-24

В качестве наиболее вероятных причин возникновения таких ситуаций в нормативных документах [2, 4] рекомендуется принимать следующие события:

1. выход параметров технологических процессов за критические значения;
2. разгерметизация технологического оборудования;
3. механическое повреждение оборудования.

В соответствии с методикой [2] оценка величин пожарных рисков проводится на основе анализа физических явлений, протекающих при пожароопасных ситуациях, пожарах, взрывах. При этом должны быть учтены следующие процессы, возникающие при реализации пожароопасных ситуаций и пожаров или являющиеся их последствиями:

1. истечение газа из отверстия;
2. двухфазное истечение из отверстия;
3. растекание жидкости при разрушении оборудования;
4. выброс газа при разрушении оборудования;
5. формирование зон загазованности;
6. сгорание газопаровоздушной смеси в открытом пространстве;
7. сгорание газопаровоздушной смеси в технологическом оборудовании или помещении;
8. вскипание и выброс горячей жидкости при пожаре в резервуаре.



Развитие пожароопасной ситуации и пожара должно рассматриваться постадийно с учетом места возникновения на объекте оценки риска, уровня потенциальной опасности каждой стадии и возможности локализации и ликвидации. В случае применения на оцениваемом объекте растворителей одним из основных факторов пожарного риска, определяющим явления 1-8, является кипение жидкостей, находящихся в зоне горения, сопровождающееся интенсивным выделением паров и, следовательно, повышением концентраций компонентов растворителей в зоне дыхания людей, находящихся на объекте в момент пожара. Кроме того, кипение растворителей при температурах более низких, чем температура горения, повышает и риск возникновения открытого пламени на объекте. Поэтому локализация полей опасных факторов пожара в значительной мере определяется расположением емкостей, содержащих растворители.

При использовании в технологических процессах (жидкостно-жидкостная экстракция, дистилляция, перегонка, ректификация и др.) или для тушения возгорания с применением тетрахлометана (фреон 10, хладон 10, ЧХУ) и бинарных растворителей на его основе особую опасность представляет истечение и растекание газа и жидкости, приводящее к формированию зон загазованности. Определяется это физико-химическими свойствами ЧХУ. Во-первых, поскольку ЧХУ имеет молярную массу ( $M=153.82$  дальтон) и плотность газовой фазы, значительно превышающие соответствующие характеристики кислорода, зона загазованности ЧХУ совпадает с зоной дыхания людей. При этом он ядовит и при вдыхании паров, попадании внутрь через желудочно-кишечный тракт или всасывании через кожные покровы и слизистые оболочки. При ингаляционном отравлении вызывает токсический отек легких и острую эмфизему. Даже кратковременное воздействие ЧХУ в высоких концентрациях способно вызвать нарушения центральной нервной системы. При этом наблюдаются все признаки интоксикации: головная боль, головокружение, сонливость, часто сопровождаемые тошнотой и рвотой. В тяжелых случаях могут развиваться ступор, кома и даже наступить летальный исход [5]. Поэтому даже вне зоны пламени при повышении температуры (в частности, на путях эвакуации) увеличение концентрации ЧХУ связанное с интенсивным парообразованием при кипении приводит к образованию поля опасных факторов. Именно поэтому ЧХУ не используется как средство тушения в гражданской технике и авиации. Еще большую опасность представляет ЧХУ при повышении температуры: при нагревании с водой до  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$  происходит гидролиз с образованием боевого отравляющего вещества фосгена. При повышении температуры до  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$  ЧХУ превращается в смесь тетрахлорэтлена и гексахлорэтана с выделением свободного хлора [5].

Все эти свойства ЧХУ и бинарных растворителей на его основе должны быть описаны в функции пожарного риска для каждой вершины графа развития пожара. При этом должен быть определен уровень опасности, количественной мерой которого является целевая функция риска. Поскольку механизмом, запускающим цепь развития негативных воздействий, является повышение концентрации ЧХУ в газовой фазе, особенно интенсивное при кипении, целевая функция риска должна описывать этот эффект. При использовании на объекте сложных жидких систем необходим также расчет зависимости температуры кипения от относительной концентрации компонентов растворителя. Решению этих задач и посвящена данная работа.

**Целевая функция пожарного риска бинарных растворов на основе ЧХУ.** Наиболее часто используемыми на практике, линейные [6] и кусочно линейные по оцениваемым параметрам (в частности – по температуре) функции пожарного риска [7] имеют ограниченную область практического применения. Как показано в работах [8,9] адекватными реальной ситуации являются двухпараметрические сигмоидные функции  $i$ -го риска вида:

$$R_i = \frac{\arctan [a_i \cdot (T - T_i)]}{\pi} + \frac{1}{2} \quad (1)$$

Область допустимых значений  $[0;1]$  функции (1) разбивается на две подобласти насыщения  $[0; T_i - \sqrt{3}/a_i]$  и  $[T_i + \sqrt{3}/a_i; 0]$ , область максимальной скорости изменения оценки –  $[T_i - \sqrt{3}/a_i; T_i + \sqrt{3}/a_i]$ . Параметр  $T_i$  определяет положение этих подобластей, а параметр эластичности оценки риска  $a_i$  – их ширины. При этом в середине отрезка  $[T_i - \sqrt{3}/a_i; T_i + \sqrt{3}/a_i]$  зависимость оценки риска от температуры является линейной. Таким образом, сигмоидная функция (1) описывает все характерные особенности поведения техногенных рисков [7]. График зависимости оценки риска  $R_i$  от аргумента  $T$  и параметра эластичности  $a$  при фиксированном значении температуры реализации  $T_i$  приведен на рис. 1. Уровни постоянного значения функции расположены на расстоянии  $\Delta \ln R_i = 0.07$ . На графике наглядно виден переход от гладкого (при малых значениях коэффициента эластичности) до резкого, практически ступенчатого (при  $a_i \geq 0.3$ ) поведения оценки пожарного риска.

Физико-химические свойства ЧХУ определяют наличие трех видов пожарных рисков, каждый из которых характеризуется собственно температурой реализации:

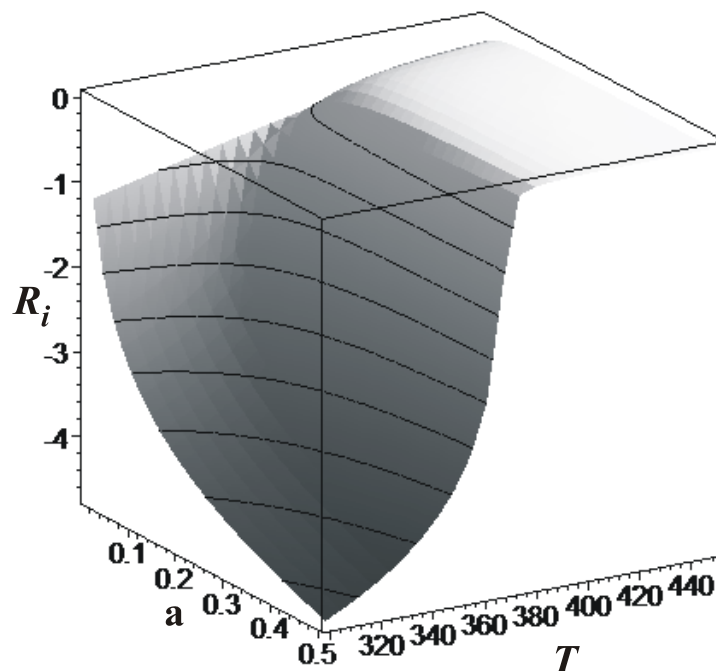
1. Кипение, сопровождающееся интенсивным переходом ЧХУ в газовую фазу, область локализации которой совпадает с зоной дыхания людей.
2. Гидролиз ЧХУ с образованием фосгена.

3. Образование смеси тетрахлорэтилена и гексахлорэтана с выделением свободного хлора.

Описывая каждый из этих рисков сигмоидной функций (1) и суммируя полученные выражения с весами  $C_i$ , определяющими их относительный

вклад, получим интегральный пожарный риск использования ЧХУ и растворов на его основе в виде:

$$R = \sum_{i=1}^3 C_i R_i \quad (2)$$



*Рис. 1. Зависимость логарифма сигмоидного представления пожарного риска  $R_i$  (ось аппликата) от абсолютной температуры помещения  $T$  (ось абсцисс) и коэффициента эластичности  $a$  (ось ординат) при характерной температуре реализации пожароопасной ситуации  $T_i = 300$  К.*

В выражении (2) вес пожарного риска кипения принимает максимальное значение, поскольку это явление, помимо того что представляет самостоятельную значительную опасность, является исходным пунктом дальнейшего развития пожарной ситуации. Особую опасность представляет кипение бинарных растворов на основе ЧХУ, что определяется нелинейными отклонениями от закона Рауля [10]. Этот эффект приводит к понижению температуры кипения гомогенных растворителей в область температур, характерных не только для зон открытого пламени, но и для смежных помещений, в частности – для путей эвакуации [9].

Вес парциального риска 2. сравним с риском кипения, что определяется соотношением зон реализации этих явлений и степеней тяжести их последствий. С одной стороны, образование фосгена, происходящее при  $250$  С<sup>0</sup>, в зонах нахождения людей возможно только локально на нагретых поверхностях. Однако, с другой стороны возможен перенос образовавшегося боевого отравляющего вещества за счет конвекции и диффузии в зоны эвакуации людей, приводящий к тяжелым токсическим поражениям.

Вклад парциального риска 3. минимален, поскольку для его реализации необходима высокая

температура, характерная для зон горения, где нахождение людей невозможно. Перенос свободного хлора в зону дыхания людей увеличивает степень токсического поражения. Однако на более ранней стадии развития пожарной ситуации уже возникла зона локализации боевого отравляющего вещества, вследствие чего включение нового локального механизма выделения отравляющего газа незначительно меняет суммарный токсический риск.

Параметры эластичности для рисков токсического 2, 3 загрязнения принимает значения, обеспечивающие ступенчатое поведение целевой функции, что определяется малой допустимой концентрацией фосгена и свободного хлора [10]. С другой стороны оценка риска повышения концентрации ЧХУ в газовой фазе характеризуется высокой эластичностью вследствие сравнительно высоких значений допустимой концентрации ЧХУ в газовой фазе.

График зависимости оценки интегрального риска  $R$  от аргумента  $T$  и параметра эластичности  $a$  риска повышения концентрации ЧХУ в газовой фазе при фиксированных значениях температур реализации парциальных рисков  $T_i$  приведен на рис. 2. На графике наглядно виден переход от гладкого (при малых значениях коэффициента эластич-

ности) до резкого, практически ступенчатого (при увеличении значений  $a$ ), поведения оценки пожарного риска. Положение скачков оценки рисков определяется температурами реализации процессов

кипения, гидролиза и выделения свободного хлора соответственно. Соотношение весов парциальных рисков равно 5:4:1.

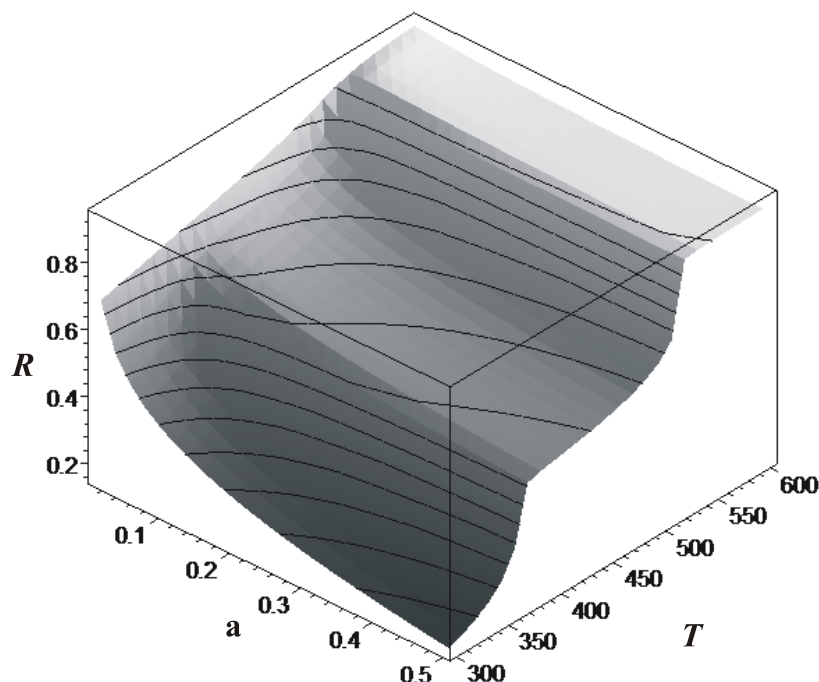


Рис. 2. Зависимость нормированного на единицу логарифма сигмоидного представления интегрального пожарного риска  $R$  (ось аппликат) от абсолютной температуры  $T$  (ось абсцисс) и коэффициента эластичности  $a$  (ось ординат)

Помимо непосредственного использования растворов, содержащих ЧХУ в технологических процессах, возможно их образование и в результате применения фреона для пожаротушения на особо опасных объектах (кораблях, электростанциях и т.д.) [12] при его взаимодействии с органическими растворителями. Как показано в работе [13] для таких растворов отклонение от закона Рауля приводит к понижению температуры кипения, что увеличивает оценку пожарного риска по сравнению с чистыми растворителями. Метод учета этого эффекта основывается на выделении аддитивной по компонентам части зависимости температуры кипения от концентрации компонентов

$$T = T_1 n_1 + T_2 n_2 + \Delta T \quad (3)$$

Здесь  $T, T_1, T_2$  – температуры кипения раствора, первого и второго компонента соответственно;  $n_1, n_2$  – молярные концентрации компонентов;  $\Delta T$  – неаддитивная поправка, описываемая гармоническом трехпараметрическом представлении вида [13]

$$\Delta T = \Delta T_e \cdot \sin \left[ \frac{\pi}{2} \frac{1 - \exp(-\alpha n)}{1 - \exp(-\alpha)} + \sigma(n - n_e) \frac{\pi}{2} \frac{N}{N_1} \right] \quad (4)$$

где  $\Delta T_e$  – величина экстремума функции  $\Delta T(n)$ . Здесь (4) введены обозначения  $N = n - n_e$  и  $N_1 = 1 - n_e$  и  $\sigma(n_e)$  – ступенчатая сигмоидная функция концентраций (1). Коэффициенты регрессии для гомогенных растворов «ЧХУ – органический растворитель» приведены в табл. 1. В последней колонке таблицы приведено значение относительной ошибки регрессии (3).

Подставляя выражения (3) и (4) в интегральный пожарный риск использования растворов на основе ЧХУ (2) получим зависимость оценки пожарного риска от абсолютной температуры помещения и состава бинарной гомогенной смеси «ЧХУ – органический растворитель». Пример результатов расчета риска кипения для раствора «ЧХУ – метанол» приведен на рис. 3. На рис. 3 наглядно виден сдвиг области увеличения пожарного риска в область меньших температур с ростом концентрации метанола в растворе.

Таблица 1.

Результаты расчетов параметров гармонической трехпараметрической аппроксимации неаддитивной поправки для гомогенных растворов ЧХУ – органический растворитель

Растворитель	$-\Delta T_e$	$\alpha$	$n_e$	$\sigma_n$
Ацетон	9.37	7.93	0.16	0.011
Метанол	18.26	33.85	0.11	0.019
Аллиловый спирт	15.15	4.77	0.20	0.027
Метилхлорид	9.88	4.47	0.06	0.044
Хлороформ	1.90	1.10	0.5	0.011
Бензол	0.76	3.99	0.22	0.029
1,1-Дихлорэтан	4.37	2.31	0.10	0.011
1-Бутанол	10.62	3.16	0.07	0.022
Этанол	12.92	1.31	0.31	0.021
Этилацетат	2.69	1.77	0.47	0.085
Трихлорэтилен	0.64	3.47	0.31	0.29
Тетрахлорэтилен	14.63	4.95	0.10	0.18
1-Пропанол	12.76	6.67	0.19	0.063
Циклогексан	0.089	2.85	0.31	0.41
Трихлорэтан	9.61	6.36	0.11	0.011
Изопропанол	12.25	7.71	0.85	0.082

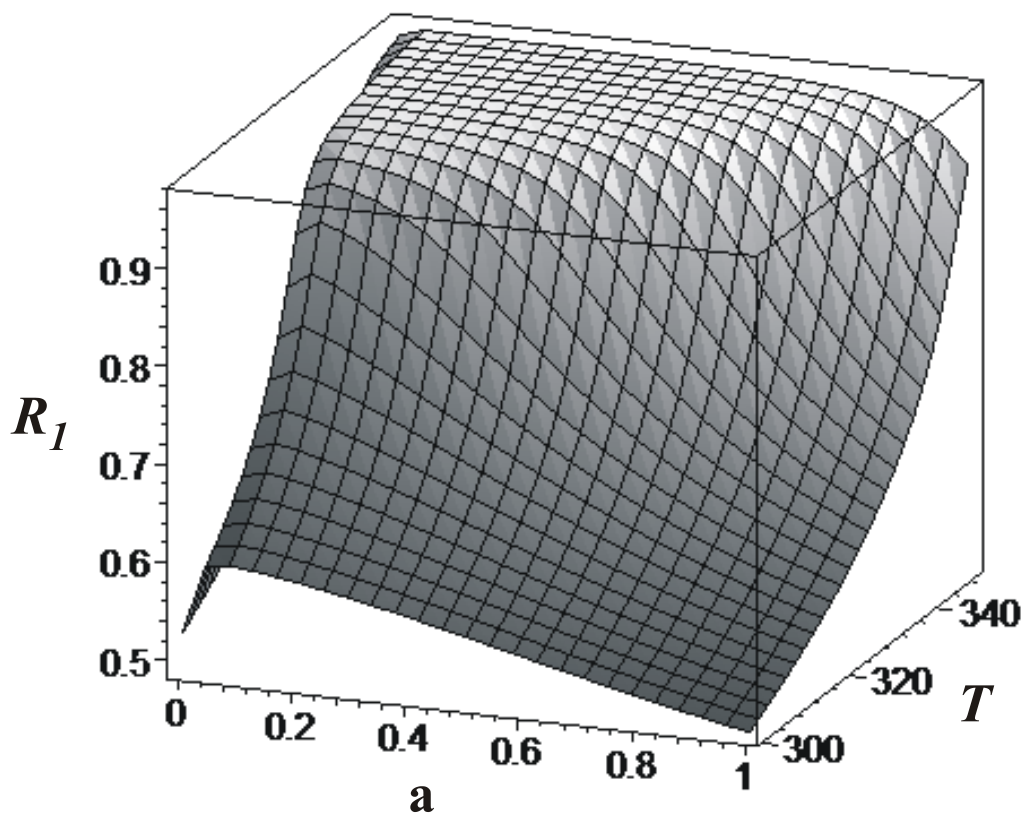


Рис. 3. Зависимость нормированного на единицу логарифма сигмоидного представления пожарного риска кипения раствора «ЧХУ – метанол»  $R_1$  (ось аппликат) от абсолютной температуры  $T$  (ось абсцисс) и концентрации разбавителя  $f$  (ось ординат) при значении коэффициента эластичности  $\alpha=0.25$ .

**Выводы и рекомендации.** Физико-химические свойства ЧХУ приводят к наличию трех интервалов критических температур быстрого роста пожарного риска. Первый интервал определяется интенсивным переходом ЧХУ в газовую фазу при его кипении, область локализации которой совпадает с зоной дыхания людей как в зонах его технологического использования, так и на путях эвакуации. Особенно сильно этот механизм формирования полей опасных факторов пожара действует при взаимодействии ЧХУ с органическими растворителями. Этот эффект обусловлен понижением температуры кипения бинарного растворителя на основе ЧХУ по сравнению с величиной, определяемой законом Рауля. Вследствие это-

го зоны совместного использования ЧХУ и органических растворителей представляют особую пожарную опасность. Также нежелательно и тушение пожара в местах использования или хранения органических растворителей средствами, в состав которых входит фреон. Кроме кипения ЧХУ и растворов на его основе, область которого может охватывать все помещения, в которых произошло возгорание, возможно и локальное выделение фосгена и свободного хлора в зонах повышения температуры выше критических для соответствующих химических реакций. Вследствие этого пути эвакуации не должны проходить через зоны возможной диффузии фреона.

### Библиографический список

1. **Федеральный закон** от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" [Электронный ресурс] – URL: <http://www.rg.ru/2008/08/01/pojar-reglament-dok.html> (дата обращения: 10.07.2014).
2. **Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах** (в ред. Приказа МЧС РФ от 14.12.2010 N 649) [Электронный ресурс] – URL: <http://base.garant.ru/55170421> (дата обращения 10.07.2014).
3. **Белов, Н.В.** Теория графов / Н.В. Белов. - М.: «Наука», 1968. - 377 с.
4. **Приказ МЧС России** от 30 июня 2009 г. № 382 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» [Электронный ресурс] – URL: <http://base.garant.ru/12169057> (дата обращения 10.07.2014).
5. **Куценко, С.А.** Военная токсикология, радиобиология и медицинская защита: Учебник для слушателей и курсантов военно-медицинских вузов / С.А. Куценко [и др.] – СПб.: Изд-во Военно-медицинской академии, 2003. – 524 с.
6. **Вишняков, Я.Д., Радаев, Н.Н.** Общая теория рисков: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Я.Д. Вишняков, Н.Н. Радаев - М.: Издательский центр «Академия», 2008. - 368 с.
7. **Кошмаров, Ю.А.** Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: Учеб. пособие / Ю.А. Кошмаров. - М.: Академия ГПС МВД РФ, 2000. - 118 с.
8. **Рудаков, О.Б.** Информационно-аналитическая система в оценке технико-эксплуатационных свойств жидких сред / О.Б. Рудаков, М.А. Преображенский, А.В. Калач, Ю.В. Спичкин // Пожаровзрывобезопасность. - 2013. - №4. - С.22-27.
9. **Преображенский, М.А., Рудаков, О.Б., Черепанин, А.М.** Применение сигмоидных функций для оценки пожарной опасности водно-органических смесей / М.А. Преображенский, О.Б. Рудаков, А.М. Черепанин // Научный вестник ВГАСУ. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. - №8. - 2014. - С. 135-141.
10. **Даниэльс Ф., Олберти Р.** Физическая химия. - М.: Мир, 1978. - 648 с.

### References

1. **Federalnyy zakon** ot 22 iyulya 2008 g. N 123-FZ "Tehnicheskij reglament o trebovaniyah pozharной bezopasnosti" [Elektronnyy resurs] – URL: <http://www.rg.ru/2008/08/01/pojar-reglament-dok.html> (data obrascheniya: 10.07.2014).
2. **Metodika opredeleniya raschetnykh velichin pozharного riska na proizvodstvennykh ob'ektah** (v red. Prikaza MChS RF ot 14.12.2010 N 649) [Elektronnyy resurs] – URL: <http://base.garant.ru/55170421> (data obrascheniya 10.07.2014).
3. **Belov, N.V.** Teoriya grafov / N.V. Belov. - M.: «Nauka», 1968. - 377 s.
4. **Prikaz MChS RF** ot 30 iyunya 2009 g. # 382 «Ob utverzhdenii metodiki opredeleniya raschetnykh velichin pozharного riska v zdaniyakh, sooruzheniyah i stroeniyyakh razlichnykh klassov funktsionalnoy pozharной opasnosti» [Elektronnyy resurs] – URL: <http://base.garant.ru/12169057> (data obrascheniya 10.07.2014).
5. **Kucenko, S.A.** Voennaja toksikologija, radiobiologija i medicinskaja zashhita: Uchebnik dlja slushatelej i kursantov voenno-medicinskih vuzov / S.A. Kucenko i dr. – SPb.: Izd-vo Voенno-medicinskoj akademii, 2003. – 524 s.
6. **Vishnjakov, Ja.D., Radaev, N.N.** Obshhaja teoriya riskov: ucheb. posobie dlja stud. vyssh. ucheb. zavedenij / Ja.D. Vishnjakov, N.N. Radaev - M.: Izdatel'skij centr «Akademija», 2008. - 368 s.
7. **Koshmarov, Ju.A.** Prognozirovanie opasnyh faktorov pozhara v pomeshhenii: Ucheb. posobie / Ju.A. Koshmarov. - M.: Akademija GPS MVD RF, 2000. - 118 s.
8. **Rudakov, O.B.** Informacionno-analiticheskaja sistema v ocenke tehniko-jeksploatacionnyh svojstv zhidkikh sred / O.B. Rudakov, M.A. Preobrazhenskij, A.V. Kalach, Ju.V. Spichkin // Pozharovzryvobezopasnost'. - 2013. - №4. - S.22-27.
9. **Preobrazhenskij, M.A., Rudakov, O.B., Cherepahin, A.M.** Primenenie sigmoidnykh funkcij dlja ocenki pozharной opasnosti vodno-organicheskikh smesey / M.A. Preobrazhenskij, O.B. Rudakov, A.M. Cherepahin // Nauchnyj vestnik VGASU. Serija: Fiziko-himicheskie problemy i vysokie tehnologii stroitel'nogo materialovedenija. - №8. - 2014. - S. 135-141.
10. **Danijel's F., Olberti R.** Fizicheskaja himija. - M.: Mir, 1978. - 648 s.
11. **Zakon RSFSR** «O sanitarno-

11. **Закон РСФСР** «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» № 52-ФЗ от 30 марта 1999 г. Приложение «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны» [Электронный ресурс] – URL: <http://base.garant.ru/12115118> (дата обращения 10.07.2014).

12. **ГОСТ 28130-89** Пожарная техника. Огнетушители. Установки пожаротушения и пожарной сигнализации [Электронный ресурс] – URL: [http://snipov.net/c\\_4702\\_snip\\_98127.html](http://snipov.net/c_4702_snip_98127.html) (дата обращения 10.07.2014).

jepidemiologicheskom blagopoluchii naselenija» № 52-FZ ot 30 marta 1999 g. Prilozhenie «Predel'no dopustimye koncentracii (PDK) vrednyh veshhestv v vozduhe rabochej zony» [Jelektronnyj resurs] – URL: <http://base.garant.ru/12115118> (data obrashhenija 10.07.2014).

12. **GOST 28130-89** Pozharnaja tehnika. Ognetchite-li. Ustanovki pozharotusheniya i pozharnoj signalizacii [Jelektronnyj resurs] – URL: [http://snipov.net/c\\_4702\\_snip\\_98127.html](http://snipov.net/c_4702_snip_98127.html) (data obrashhenija 10.07.2014).

## THE INFLUENCE OF THE COMPOSITION OF BINARY SOLUTIONS ON THE BASIS OF CARBON TETRACHLORIDE ON THEIR FIRE SAFETY

**Preobrazhensky M. A.**, candidate of physical - mathematical sciences, associate professor of department of physics, [pre4067@yandex.ru](mailto:pre4067@yandex.ru), (473)2227017

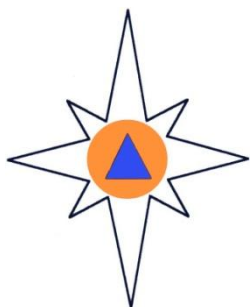
**Cherepakhin A.M.**, researcher of chair of chemistry [ussian\\_86@bk.ru](mailto:ussian_86@bk.ru) (473)2715024

**Rudakov O.B.**, Doctor of Chemistry, professor, [rudakov@vgasu.vrn.ru](mailto:rudakov@vgasu.vrn.ru), (473)2715024

Russia, Voronezh, Federal public budgetary educational institution of higher education "Voronezh state university of architecture and construction

*Formulated types of fire risks arising from the use of carbon tetrachloride and solutions based on it, and determined their relative weight in the objective function. Defined physico-chemical processes leading to the implementation of fire risks and special role in the dynamics of boiling fire situation. Built two-parameter sigmoid function of fire risk and identify the segments into which the tolerance range of this function. The dependence of the fire risk of the molar concentration of the solution components "carbon tetrachloride - organic solvent."*

**Keywords:** fire risk, carbon tetrachloride, boiling, the objective function.



## ИНФОРМАЦИОННЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 614.841:311.313

### АНАЛИЗ ОБСТАНОВКИ С ПОЖАРАМИ И ПОСЛЕДСТВИЙ ОТ НИХ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ЗА 11 МЕСЯЦЕВ 2014 ГОДА

*В отчете Департамента надзорной деятельности и профилактической работы приводятся статистические данные о количестве пожаров, их причинах и последствиях в Российской Федерации за 11 месяцев 2014 года.*

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

За 11 месяцев 2014 года оперативная обстановка с пожарами в Российской Федерации по сравнению с аналогичным периодом прошлого года (АППГ) характеризовалась следующими основными показателями:

- зарегистрировано 135 тыс. 157 пожаров (-1,6%);
- погибло при пожарах 8 тыс. 669 человек

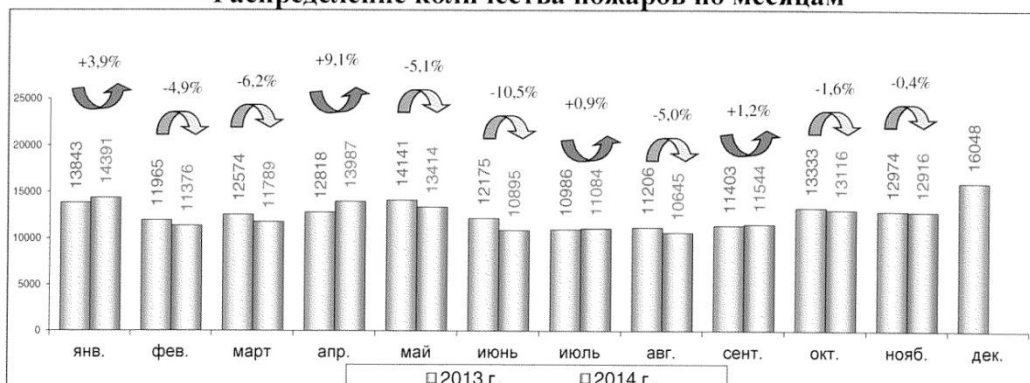
- (-4,9%), в том числе 443 ребенка (-0,4%);
- получили травмы на пожарах 9 тыс. 704 человека (-3,0%);
- прямой материальный ущерб причинён в размере 14,2 млрд. рублей (+1,1%);
- зарегистрировано 418 тыс. 252 выезда пожарных подразделений на ликвидацию загораний (в 2013 г. - 265 579 (+57,5 %)).



Подразделениями ГПС на пожарах спасено 79 тысяч 290 человек и материальных ценностей на сумму более 40,5 млрд. рублей. Ежедневно в Российской Федерации в среднем происходило 405 пожаров, при которых погибало 26 человек и 29

человек получали травмы, огнем уничтожалось 115 строений, 23 единицы автотракторной техники. Ежедневный материальный ущерб составил 42,6 млн. рублей.

**Распределение количества пожаров по месяцам**



Рост пожаров зарегистрирован в январе на 3,9%, апреле на 9,1%, июле на 0,9% и в сентябре на 1,2%.

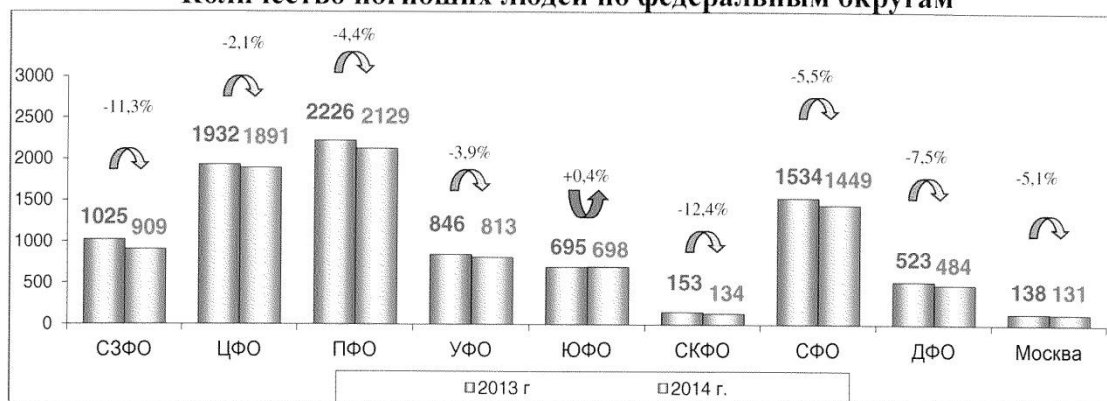
**Количество пожаров по федеральным округам**



Динамика количества пожаров по федеральным округам в сравнении с АППГ: Северо-Западный -2,2%; Центральный -0,2%; Приволжский

+0,4%; Уральский -2,6%; Южный -1,8%; Северо-Кавказский -4,2%; Сибирский -3,0%; Дальневосточный -3,5%; г. Москва -0,8%.

**Количество погибших людей по федеральным округам**

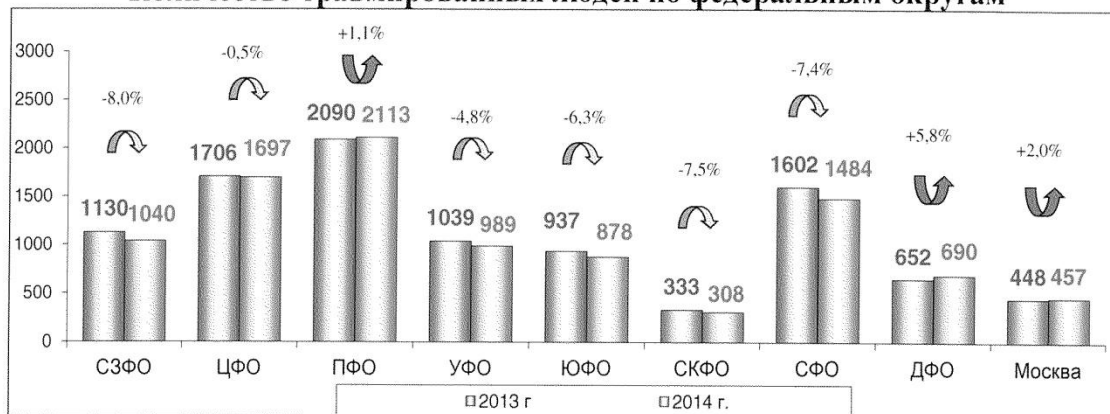


Снижение количества погибших людей зарегистрировано в Северо-Западном федеральном округе на 11,3%, Центральном - на 2,1%, Приволжском - на 4,4%, Уральском - на 3,9%, Северо-

Кавказском - на 12,4%, Сибирском - на 5,5%, Дальневосточном - на 7,5%, в г. Москве - на 5,1%. Рост количества погибших людей зарегистрирован в Южном федеральном округе на 0,4%.



### Количество травмированных людей по федеральным округам



Рост количества травмированных людей зарегистрирован в Приволжском и Дальневосточном федеральных округах, а также в г. Москве.

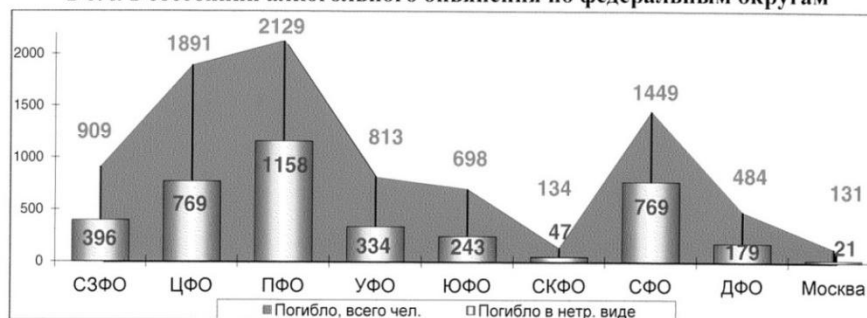
Произошел одновременный рост количества пожаров, погибших и травмированных при них людей в Ульяновской области (+12,1%;+3,6%;+25,9%).

Зарегистрирован рост количества пожаров и погибших при них людей в республиках Марий Эл (+12,8%;+4,7%) и Хакасия (+4,7%;+25,0%), Самарской (+3,2%;+2,4%) и Саратовской (+2,3%;+1,6%) областях. Рост количества пожаров и травмированных при них людей зарегистрирован в Республике Мордовия (+2,0%;+30,0%), Новгородской (+1,2%;+32,0%), Орловской (+4,1%;+22,2%) и Смоленской (+2,7%;+24,6%) областях.

В 32 субъектах Российской Федерации зарегистрировано увеличение количества погибших при пожарах детей. На пожарах больше погибло лиц мужского пола - 70,4% от общего количества погибших, женщин - 28,7% от общего количества.

Отмечено, что 45,3% погибших при пожарах людей находились в состоянии алкогольного (наркотического) опьянения. В городах этот процент составляет 44,7% от общего числа погибших в городах, в сельской местности - 46,0% от общего числа погибших в сельской местности. Относительно аналогичного периода прошлого года количество погибших людей, находившихся в нетрезвом состоянии, снизилось на 11,7%, с 4452 человек до 3929.

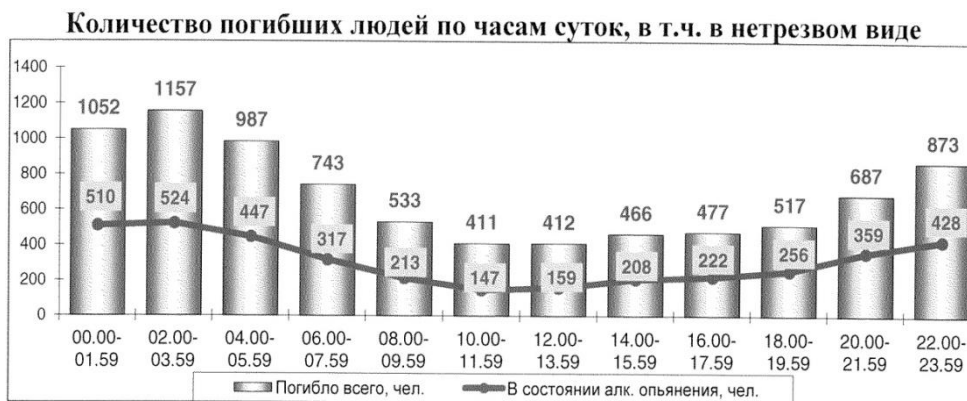
### Количество погибших при пожарах людей, в т.ч. в состоянии алкогольного опьянения по федеральным округам



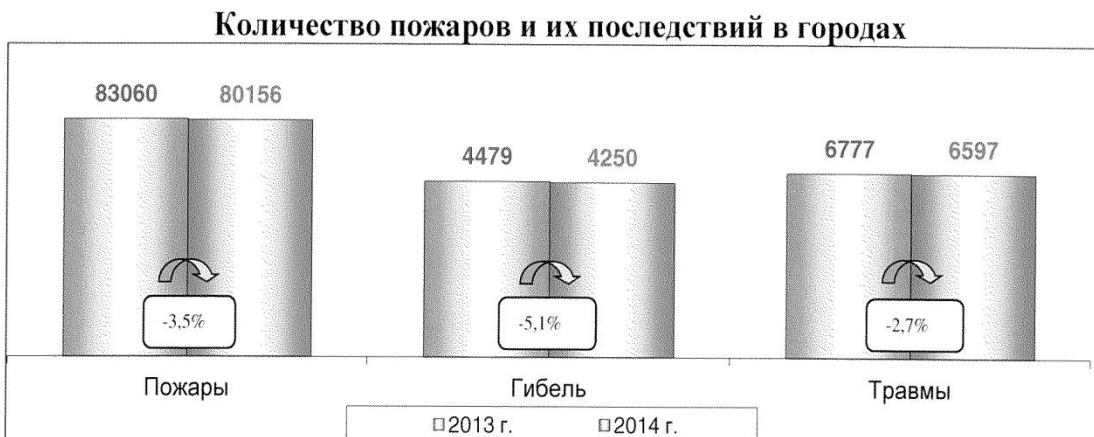
Из диаграммы следует, что в Северо-Западном федеральном округе количество погибших в нетрезвом виде, от их общего количества, составляет 43,6%, в Центральном - 40,7%, Приволжском - 54,4%, Уральском - 41,1%, Южном - 34,8%, Северо-Кавказском - 35,1%, Сибирском - 53,1%, в Дальневосточном - 37,0% федеральных округов и в г. Москве - 16,0%.

За 11 месяцев 2014 года наибольшее количество пожаров происходило по воскресеньям - 21581 (15,9% от общего количества), наименьшее по вторникам - 17615 (13,0%).

Больше всего людей погибло по субботам - 1390 человек (16,0% от общего количества), меньше всего по понедельникам - 1143 человека (13,2%).



Основное время суток, когда погибали люди - это ночные часы. Так в период с 2 до 4 часов ночи погибло 1157 человек. Всего же за вечернее и ночное время (с 18.00 до 6.00 часов утра) погибло 5273 человека (60,8% от общего количества).



Количество пожаров и их последствий в городах.

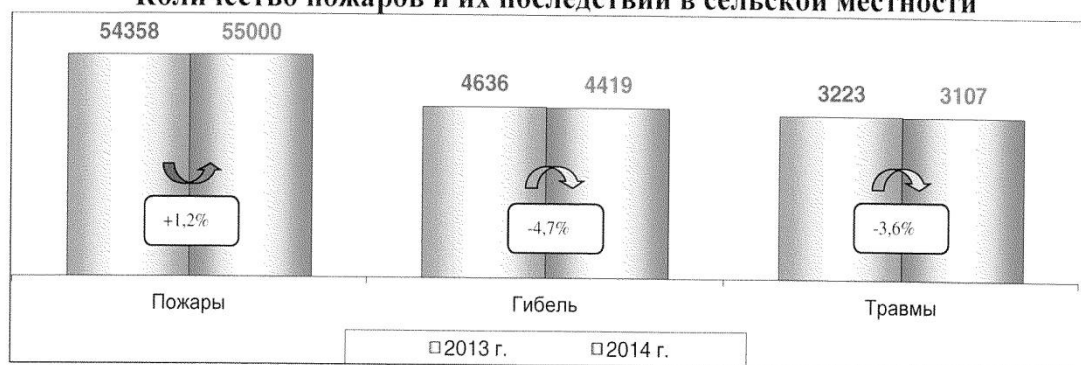
В городах Российской Федерации за 11 месяцев 2014 года зарегистрировано:

- 80156 пожаров (-3,5% к АППГ);
- погибло 4250 человек (-5,1%), в том числе 213 детей (+7,6%);

- получили травмы 6597 человек (-2,7%).

Прямой материальный ущерб причинён в размере 9350,2 млн. рублей (+8,7%). На города пришлось 59,3% от общего количества пожаров, 65,8% материального ущерба, 49,0% от общего числа погибших при пожарах людей и 68,0% травмированных.

### Количество пожаров и их последствий в сельской местности



В сельской местности Российской Федерации зарегистрировано:

- 55000 пожаров (+1,2% к АППГ);
- погибло 4419 человек (-4,7%), в том числе 230 детей (-6,9%);
- получили травмы 3107 человек (-3,6%).

Прямой материальный ущерб причинён в размере 4861,8 млн. рублей (-10,9%). На сельскую местность пришлось 40,7%; от общего количества пожаров, 34,2% материального ущерба, 51,0% от

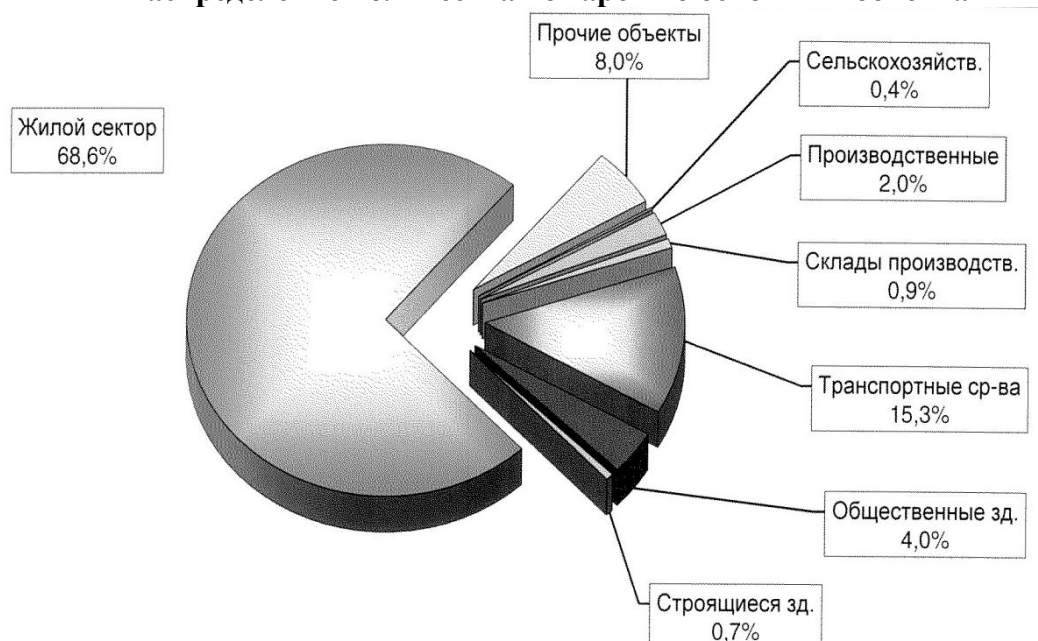
общего числа погибших при пожарах людей и 32,0% травмированных.

На предприятиях, охраняемых подразделениями ФПС МЧС России, зарегистрировано:

- 1449 пожаров (-5,3% к АППГ);
- погибших 143 человека (-2,7%);
- травмированных 103 человека (-17,6%).

Прямой материальный ущерб причинён в размере 1315,2 млн. руб. (+929,4 млн. руб.).

### Распределение количества пожаров по основным объектам



Распределение количества пожаров по основным объектам

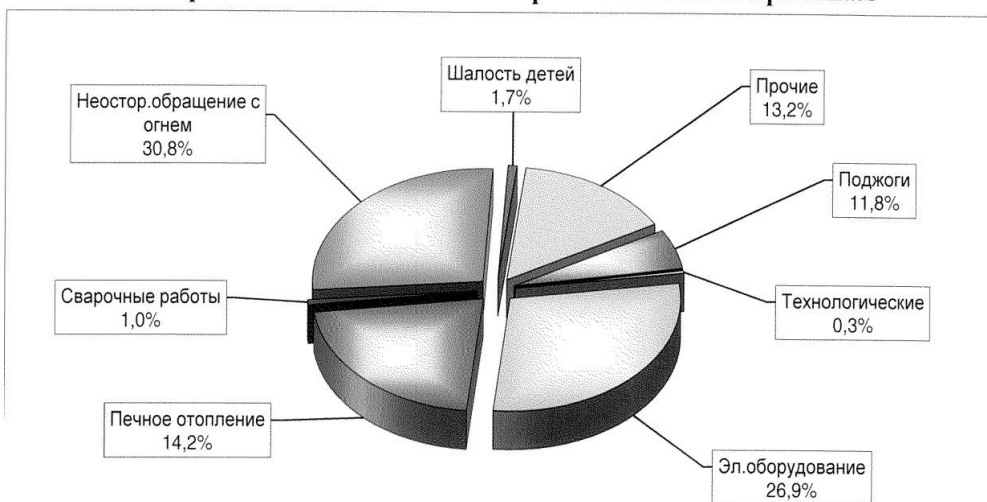
По сравнению с АППГ снижение количества пожаров зарегистрировано на следующих основных видах объектов: в зданиях сельскохозяйственного (-9,9%), складского (-1,3%), общественного (-8,0%) и производственного (-2,4%) назначения, жилом секторе (-0,6%), транспортных средствах (-3,2%) и прочих объектах (-3,6%). Рост количества пожаров зарегистрирован на строящихся объектах (+0,3%).

Чаще всего пожары происходили в жилых (спальных) комнатах - 26915 случаев (19,9% от общего количества), на кухнях - 7722 (5,7%), в саунах

- 7632 (5,6%) и на чердаках зданий - 7694 (5,7%). Наибольшее количество тел погибших людей было обнаружено в жилых комнатах - 5024 (58,0% от общего количества), на кухнях - 1035 (11,9%;) и на верандах, террасах - 635 (7,3%).

По сравнению с аналогичным периодом прошлого года зарегистрирован рост количества пожаров и погибших при них людей в помещениях для содержания животных и птицы (+3,2%;+58,8%), котельных (+13,6%;+10,0%), пристройках к зданиям (+7,3%;+1,0%), коридорах (+5,6%;+4,3%) и на чердаках зданий (+3,9%;+25,6%).

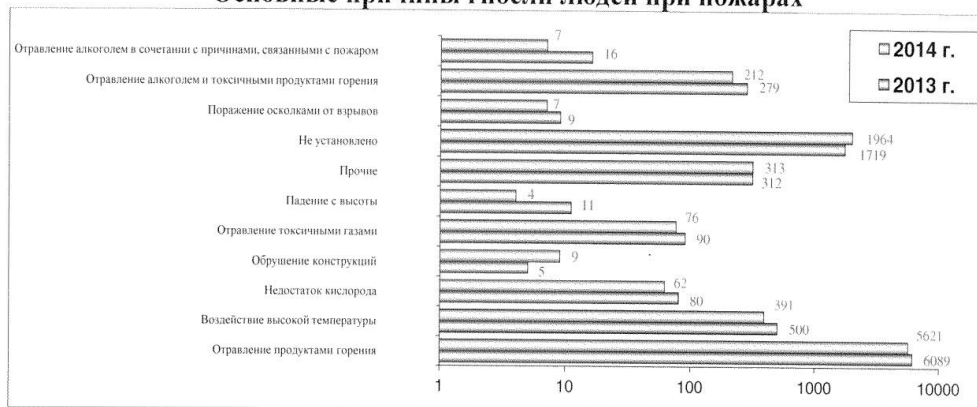
**Распределение количества пожаров по основным причинам**



За 11 месяцев 2014 года от неосторожного обращения с огнём произошло 30,8% (в 2013 г. - 32,7%) от общего количества пожаров, при которых погибло 5312 человек (61,3% от общего количества, в 2013 г. - 64,5%) и 4957 человек получили травмы (51,1% от общего количества, в 2013 г. - 53,0%). Значительное количество пожаров произошло по причинам нарушений правил устройства и эксплуатации электрооборудования (26,9% от общего количества) и нарушений правил эксплуатации печного отопления (14,2% от общего количества).

Зарегистрировано уменьшение количества пожаров по следующим основным причинам их возникновения: поджоги (-3,0%), неосторожное обращение с огнём (-7,5%), неосторожного обращения детей с огнём (-4,7%), неисправности производственного оборудования (-11,6%), нарушения ППБ при проведении электрогазосварочных и огневых работ (-7,6%). Рост количества пожаров зарегистрирован по причинам нарушения ПУиЭ печного отопления (+6,6%) и электрооборудования (+0,4%), а также по прочим причинам (+3,1%)

**Основные причины гибели людей при пожарах**



**ANALYSIS OF THE SITUATION WITH FIRES AND CONSEQUENCES FROM THEM ON THE TERRITORY OF THE RUSSIAN FEDERATION IN 11 MONTHS 2014**

*In the report of Department of supervising activity and scheduled maintenance statistical data on the number of fires, their reasons and consequences are provided in the Russian Federation in 11 months 2014.*

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