

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ДЛЯ МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ ЗАДАЧИ ИДЕНТИФИКАЦИИ СИТУАЦИЙ, СКЛАДЫВАЮЩИХСЯ НА МЕСТЕ ПОЖАРА

FORMALIZATION OF BOUNDARY CONDITIONS FOR MODELS AND ALGORITHMS OF FIRE IDENTIFICATION PROBLEM

**A. Denisov
Nguyen Thee Tai**

Summary. Introduction. Complications at extinguishing fires in reservoirs are caused by poor attention to the planning of fire management at the initial stage of a fire. The primary strategy for managing mobile firefighting assets when extinguishing fires at these facilities is to implement the deferred attack method — failure to extinguish the fire at the initial stage of the fire.

Aims and objectives. To verify the models and algorithms of the task of identifying the situations developing on the place of fire, developed by the authors. To carry out experimental research (simulation) of the boundary conditions for the model and algorithms, published by the authors in 2022. Experimentally justify the possibility of extinguishing fires in tanks with oil and petroleum products with water.

Methods. Methods of similarity theory and laboratory modeling, physical experiment, observation, comparison, finding empirical dependencies based on the mathematical processing of experimental data, description, generalization.

Results and their discussion. Specialized test benches with models of vertical tanks (for fire and hydraulic tests) have been created. The parameters of replaceable nozzles of fire-extinguisher models have been selected to simulate the cooling and extinguishing of burning tanks. Water was used as the extinguishing agent; gasoline and light crude oil were used as the combustible liquid. Experiments on stoking the flame in the model of a vertical tank with crude light oil with water were successful. A number of boundary conditions for models and algorithms of the problem of identification of situations on the site of the fire have been formalized.

Conclusions. When planning the management of combat operations in reservoirs with light crude oil to implement the method of immediate attack, not to cool the tank(s), and immediately proceed to extinguish the burning tank. Experimentally justified the possibility of extinguishing fires in tanks with crude light oil with water, with gasoline was not possible. A number of boundary conditions for the models and algorithms of the fire identification problem are

Денисов Алексей Николаевич

*Доктор технических наук, профессор; профессор кафедры пожарной тактики и службы (в составе учебно-научного комплекса пожаротушения); Академия Государственной противопожарной службы МЧС России; г. Москва
dan_aleks@mail.ru*

Нгуен Тхе Тай

*Адъюнкт факультета подготовки научно-педагогических кадров; Академия Государственной противопожарной службы МЧС России; г. Москва
thetait34.36@gmail.com*

Аннотация. Введение. Осложнения при тушении пожаров в резервуарах обусловлены слабым вниманием к планированию управления ведением боевых действий на начальной стадии пожара. Основная стратегия управления мобильными средствами пожаротушения при тушении пожаров на данных объектах заключается в реализации метода отложенной атаки — отказ от тушения пожара на начальной стадии пожара.

Цели и задачи. Верификация разработанных авторами моделей и алгоритмов задачи идентификации ситуаций, складывающихся на месте пожара. Провести экспериментальные исследования (моделирование) граничных условий для модели и алгоритмов, опубликованных авторами в 2022 году. Экспериментально обосновать возможность тушения пожаров в резервуарах с нефтью и нефтепродуктами водой.

Методы. Методы теории подобия и лабораторного моделирования, физического эксперимента, наблюдения, сравнения, нахождения эмпирических зависимостей на основе математической обработки экспериментальных данных, описания, обобщения.

Результаты и их обсуждение. Созданы специализированные испытательные стенды с моделями вертикальных резервуаров (для огневых и гидравлических испытаний). Подобраны параметры сменяемых насадок моделей пожарных стволов позволяющие моделировать охлаждение и тушение горящих резервуаров. В качестве огнетушащего вещества использовалась вода; горючей жидкости — бензин и сырая лёгкая нефть. Успешными оказались эксперименты по срыву пламени в модели вертикального резервуара с сырой лёгкой нефтью водой. Формализован ряд граничных условий для моделей и алгоритмов задачи идентификации ситуаций, складывающихся на месте пожара.

Выводы. При планировании управления ведением боевых действий в резервуарах с сырой лёгкой нефтью осуществлять метод немедленной атаки, не охлаждать резервуар(ы), а сразу преступить к тушению горящего резервуара. Экспериментально обоснована возможность тушения

formalized, among which are: the ratio of the spot area of the water jet on the liquid surface to the area of the tank model when supplying hinged jets is up to 10%; the minimum time for stopping the flame in the burning tank model by the fire-barrel model that supplies water by hinged jets is 350 s, on average; the water consumption for stopping the flame — 864 l/c is determined.

Keywords: algorithm, boundary conditions, immediate attack method, delayed attack method, model, planning, fire suppression, tank, control, experiment.

Введение

Нефтегазовая отрасль Вьетнама признана приоритетной отраслью развития экономики. Так как традиционно считается, что для благополучного развития государства имеет значение топливно-энергетический комплекс, представляющий систему взаимодействующих отраслей. Крупные пожары на объектах нефтеперерабатывающего комплекса происходят достаточно редко 10 в год (согласно, открытых источников). При этом пожары демонстрируют проблемы в области управления пожаротушением, менеджмента организаций (нефтеперерабатывающего комплекса), охраны окружающей среды [1, 2]. Для поддержки управления (планирования) пожаротушением предлагается применить прикладные аспекты математической логики для формализации модели и алгоритмов [3, 4].

Основная часть

С целью верификации разработанных авторами моделей и алгоритмов [2, 5] повышающих эффективность организации ведения боевых действий пожарно-спасательными подразделениями (Рис. 1), было проведено сравнение результатов компьютерного моделирования с исследованием на моделях (натурное испытание). В течение 2020–2022 годов в Северном Вьетнаме и России (Москва, Московская область) были проведены экспериментальные исследования (моделирование) граничных условий для модели и алгоритмов задачи идентификации ситуаций, складывающихся на месте пожара. Некоторые результаты, которых представлены в данной статье.

С целью минимизации количества серий исследований на моделях осуществлено планирование эксперимента [6–9]. Российский и мировой опыт однозначно определяет в качестве огнетушащего вещества на объектах нефтепродуктообеспечения пену, при этом ведутся исследования по поиску альтернативных огнетушащих веществ. В данном исследовании проверялась

пожаров в резервуарах с сырой лёгкой нефтью водой, с бензином не удалось. Формализован ряд граничных условий для моделей и алгоритмов задачи идентификации ситуаций складывающихся на месте пожара среди которых: соотношение площади пятна водяной струи на поверхности жидкости и площадью модели резервуара при подаче навесных струй составляет до 10%; минимальное время срыва пламени в горящей модели резервуара моделью пожарного ствола подающем воду навесными струями составляет 350 сек., в среднем; определён расход воды для срыва пламени — 864 л/с.

Ключевые слова: алгоритм, граничные условия, метод немедленной атаки, метод отложенной атаки, модель, планирование, пожаротушение, резервуар, управление, эксперимент.

гипотеза организации тушения пожара в резервуаре струями воды — перемешиванием.

Для экспериментального исследования были созданы два специализированных испытательных стенда с моделями вертикальных резервуаров (один для огневых и гидравлических испытаний, в масштабе 1:120 м, другой для гидравлических испытаний — 1:53 м). Подобные резервуары установлены на нефтеперерабатывающих заводах Dung Quat (Дунг Кват) и Nghi Son (Нги Сон). Сменяемые насадки модели пожарных стволов выполнены, из полого, жесткого пластика в таких же масштабах. Модели пожарных стволов устанавливались на держателях, с возможностью их регулирования по высоте и углу подачи воды. В качестве огнетушащего вещества использовалась вода. Горючая жидкость — бензин (ГОСТ Р 51105–97 Топлива для двигателей внутреннего сгорания. Неэтилированный бензин. Технические условия) и сырая лёгкая нефть.

Экспериментальное моделирование проводилось двумя сериями. Первая серия, гидравлические испытания. Серия опытов проводилась с целью верификации моделей пожарных стволов со стандартными ручными и лафетными пожарными стволами, предназначенными для формирования сплошной и/или распылённой струи воды (ГОСТ Р 53331–2009. «Техника пожарная. Стволы пожарные ручные. Общие технические требования. Методы испытаний»). Сформирована база знаний с параметрами для моделей пожарных стволов. Измерение высоты волны, в резервуаре создаваемой от струи, подаваемой из моделей пожарных стволов. Измерение параметров пятна орошения от струи, подаваемой из модели пожарного ствола (Рис. 2). В дальнейшем будем описывать результаты экспериментов с моделью пожарного ствола с эквивалентным диаметром spryska 32 мм, рабочим давлением 0,6 Мпа ($\pm 0,1$ Па).

Вторая серия. Огневые испытания на модели вертикального резервуара, с целью определения соотно-

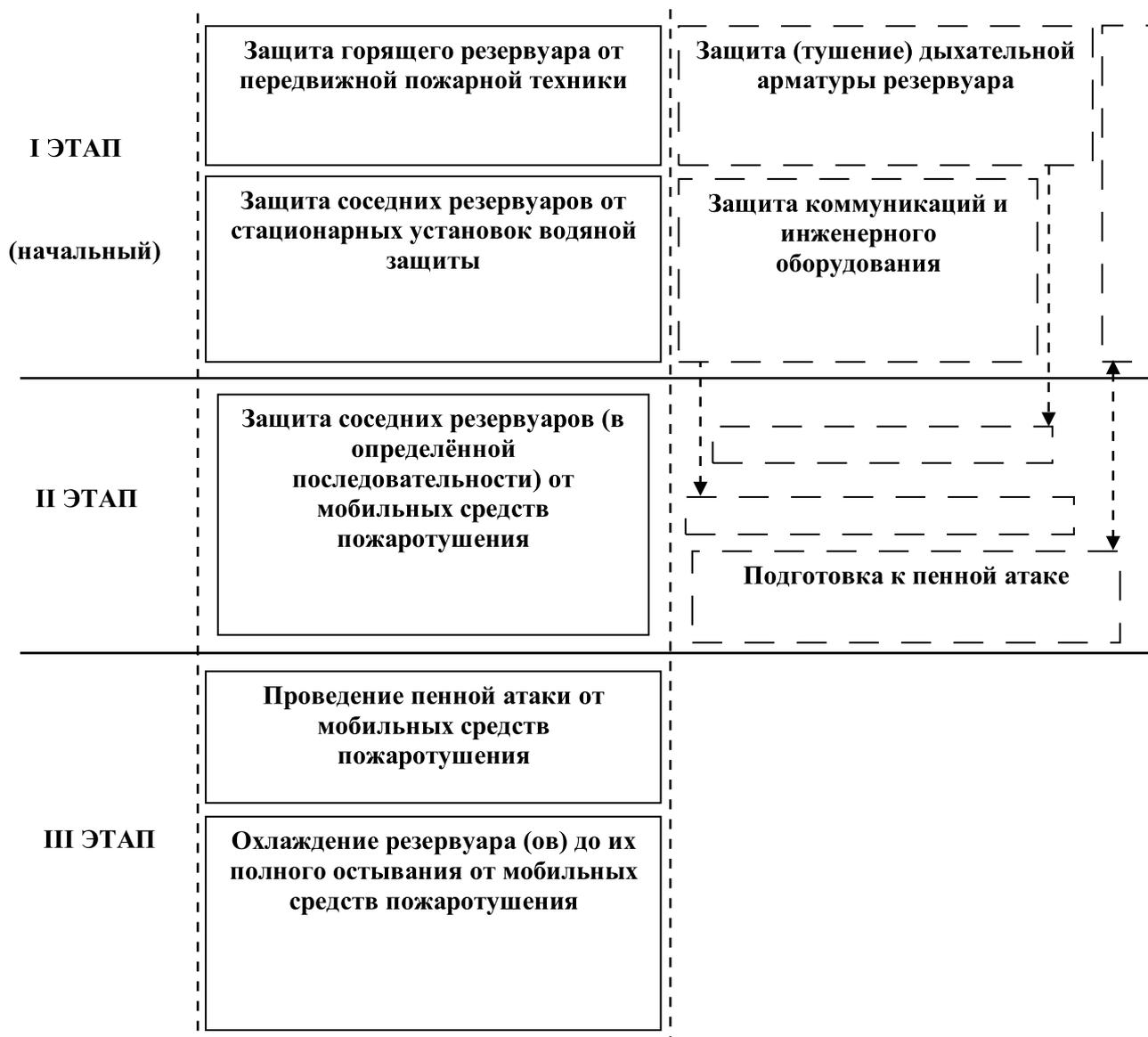


Рис. 1. Фрагмент нормативного, обобщенного алгоритма ведения боевых действий при тушении пожара в резервуаре

шения площади пятна от водяной струи на поверхности жидкости и площади модели резервуара для срыва пламени в горящем резервуаре (рис. 2а). Результаты охлаждения борта модели резервуара и по срыву пламени прямыми струями в данной статье не приводятся.

Модели пожарных стволов по расходу воды, геометрическими параметрам струи и дальности расположения от борта резервуара имеют погрешность 4%. Только при подаче воды навесными струями (рис. 2а) при угле 50° и 55° погрешность составила 3,75%. Таким образом, точность оставляет более 95% [10].

При огневых испытаниях рассматривались 3 серии экспериментов (табл. 1): 1 серия — 2/3 бензин и 1/3 вода; 2 серия — бензин; 3 серия — сырая нефть.

Время срыва пламени в горячей модели резервуара, моделью пожарного ствола подающем воду навесными струями с углом θ_{01} , составляет в среднем 680 секунд, а с углом θ_{02} — в среднем 350 секунд (Рис. 1, б).

Используя метод подобия [11], был определён расход из пожарного ствола (группы пожарных стволов) — 864 л/с. Данный расход может обеспечить на пример, пожарный ствол на прицепе HFS® Monitor Trailer System 12 (MTS12) с расходом — 883 л/с [12].

Таблица 1. Результаты тушения модели резервуара

Экспериментальные результаты тушения пожара	потушено	не потушено	потушено
Горючие вещества в резервуаре	бензин и вода	бензин	сырая нефть
$S_{D_{21}}, \text{см}^2$	5	5	5
$S_{D_{22}}, \text{см}^2$	441	441	441
$\zeta_1 = \frac{\sum S_{D_{21}}}{S_p}$	0,11	0,11	0,11
$\zeta_2 = \frac{\sum S_{D_{22}}}{S_p}$	10	10	10

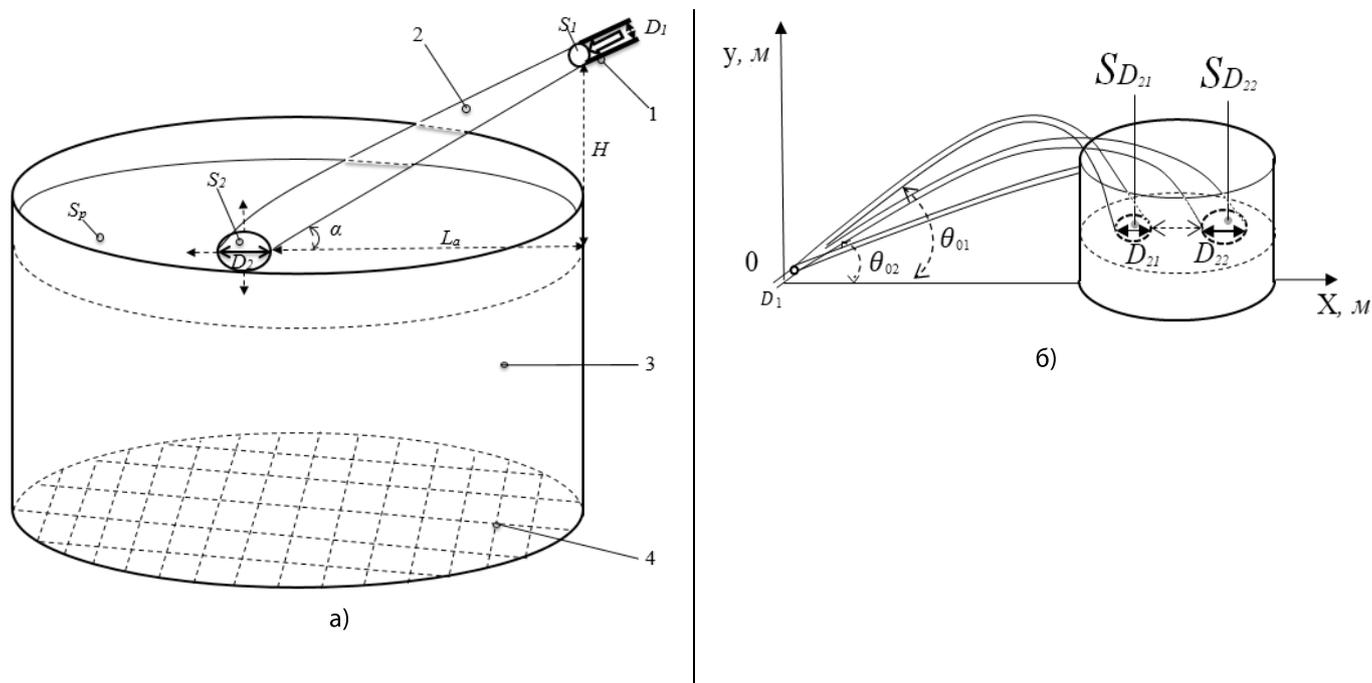


Рис. 2. Принципиальная схема испытательного стенда для определения параметров пятна орошения от струи подаваемой из модели пожарного ствола, а) прямые струи, б) навесные струи: D_1 — диаметр сечения насадка модели пожарного ствола; S_1 — площадь поперечного сечения модели пожарного ствола; α — угол распыления струи воды относительно зеркала резервуара; S_2 — площадь пятна воды струи на поверхность жидкости; S_p — площадь модели резервуара; 1 — модель пожарного ствола; 2 — водяная струя; 3 — модель резервуара; 4 — сантиметровая сетка; θ_{01} — максимальный угол наклона оси пожарного модель ствола к горизонту; θ_{02} — минимальный угол наклона оси пожарного модель ствола к горизонту; $S_{D_{22}}$ — площадь пятна воды струи на поверхность жидкости при максимально возможном угле наклона модели пожарного ствола; $S_{D_{21}}$ — площадь пятна воды струи на поверхность жидкости при минимально возможном угле наклона модели пожарного ствола; D_{21} — диаметр пятна воды струи на поверхность жидкости при максимально возможном угле наклона модели пожарного ствола; D_{22} — диаметр пятна воды струи на поверхность жидкости при минимально возможном угле наклона модели пожарного ствола

Ущерб от пожара в подавляющем большинстве случаев определяется тем, насколько быстро удастся его локализовать и не допустить его дальнейшего распространения. Типовой, первоочередной задачей (Рис. 1) пожарно-спасательных подразделений при тушении

пожаров в резервуарах вертикальных стальных является охлаждение горящего резервуара и соседних с ним, таким образом, реализуется метод отложенной атаки. Принимая во внимание результаты экспериментов предлагается при тушении пожара в резервуаре верти-

кальном стальном перейти к методу немедленной атаки, т.е. не охлаждать резервуар(ы), а сразу преступить к тушению горящего [13, 14].

Заключение

Формализован ряд граничных условий для моделей и алгоритмов задачи идентификации ситуаций, складывающихся на месте пожара среди которых:

- ◆ соотношение площади пятна водяной струи на поверхности жидкости и площадью модели резервуара при подаче навесных струй составляет от 0,11 до 10%. Таким образом, более эффективным способом подачи струй будет подача прямых струй;
- ◆ время срыва пламени в горячей модели резервуара моделью пожарного ствола подающем воду навесными струями с наибольшим и наименьшим углами, составляет от 350 до 680 сек., в среднем. Успешными оказались эксперименты

по срыву пламени в модели вертикального резервуара с сырой лёгкой нефтью водой;

- ◆ определён расход из пожарного ствола (группы пожарных стволов) — 864 л/с. Данный расход может обеспечить на пример, пожарный ствол на прицепе HFS® Monitor Trailer System 12 (MTS12) с расходом — 883 л/с.

Вышеизложенное позволяет предложить не охлаждать резервуар(ы), а сразу преступить к тушению горящего. Так как типовой, первоочередной задачей (Рисунок 1) пожарно-спасательных подразделений при тушении пожаров в резервуарах вертикальных стальных является охлаждение горящего резервуара и соседних с ним, то результаты натурного моделирования позволяют не охлаждать резервуар(ы), а сразу преступить к тушению горящего. Тем самым отойти о реализации метода отложенной атаки к осуществлению метода немедленной атаки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волков О.М. Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами. СПб.: изд-во Политехн. ун-та, 2010. 398 с.
2. Denisov A.N., Nguyen The Tai. Algorithm For Supporting Management Decision-Making On The Placement Of The Positions Of The Trunk Operators When Extinguishing Fires In The Tanks Of Vietnam. Turkish Journal of Computer and Mathematics Education Vol.12 No. 5 (2021), pp. 709–713. <https://turcomat.org/index.php/turkbilmat/article/view/1472>. DOI: <https://doi.org/10.17762/turcomat.v12i5.1472>
3. Денисов А.Н., Данилов М.М., Цокурова И.Г., Аникин С.Н. Модель и алгоритм управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров на металлургических предприятиях при разгрузке сырья из подвижного железнодорожного состава // Computational nanotechnology. 2021. Т. 8, № 1. С. 59–67. <https://doi.org/10.33693/2313-223X-2021-8-1-59-67>. <https://elibrary.ru/jwrgpam>.
4. Основы проблемологии [Текст]. Фридман Л.М. М.: СИНТЕГ, 2001. 228 с.
5. Денисов А.Н., Нгуен Тхе Тай. Модель и алгоритмы задачи идентификации ситуаций при ведении действий по тушению пожара // Технологии техносферной безопасности. 2022. Вып. 2 (96). С. 151–160. <https://doi.org/10.25257/TTS.2022.2.96.151-160>.
6. Андрукович П.Ф., Голикова Т.И., Костина С.И. Сб. статей "Новые идеи в планировании эксперимента" [Текст] под ред. В.В. Нилимова. М.—Л., "Наука", 1969.
7. Математическая обработка эксперимента [Текст]. Румшинский. М., 1971.— 192 с.: с ил.
8. Гришин В.К. и др. Математическая обработка и интерпретация физического эксперимента [Текст] / В.К. Гришин, Ф.А. Живописцев, В.А. Иванов.— М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988.— 318 с.
9. Сизиков В.С. Математические методы обработки результатов измерений [Текст]: Учебник для вузов.— СПб: Политехника, 2001.— 240 с.: ил.
10. Катранов А.Г., Самсонова А.В. Компьютерная обработка данных экспериментальных исследований: учеб. пос. СПб.: изд-во СПбГУФК им. П.Ф. Лесгафта, 2005. 131 с.
11. Фирсов А.Н., Журавская Анжелика. О методах теории подобия и размерности // Системный анализ в проектировании и управлении: сборник научных трудов XXIV Международной научной и учебно-практической конференции, 13–14 октября 2020 года: [в 3 частях]. Ч. 2 Стр.121–131. doi:10.18720/SPBPU/2/id20-159.
12. Мониторы. <https://hytrans.com/en/products/monitors>.
13. Денисов, А.Н. Управление силами и средствами при тушении пожаров (тушение лесных пожаров силами ФПС МЧС России): монография / А.Н. Денисов, А.Н. Григорьев, С.В. Гундар.— М.: Академия ГПС МЧС России, 2015.— 151 с.
14. Фролов Д.В., Денисов А.Н. Управление пожарными подразделениями при тушении пожара методом подготовленной атаки. Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности» (<http://academygps.ucoz.ru/ttb>).— № 5 (51) 2013 г. // Денисов А.Н., Журавлев Н.М. Формализация и постановка задачи пожарным подразделениям при тушении пожара // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. № 2 (20). 2010. <http://ipb.mos.ru/ttb>.