

В.В. Белозеров¹, В.М. Гаврилей²
(¹НИИ физики Южного федерального университета, ²ВНИИПО МЧС России;
e-mail: info@academygps.ru)

О НОВОМ УРАВНЕНИИ ОПЕРАТИВНО-ТАКТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ

Получено новое уравнение оперативно-тактической деятельности (ОТД) Государственной противопожарной службы. Получено уравнение ОТД для Юга России.

Ключевые слова: противопожарная служба, уравнение.

V.V. Belozerov V.M. Gavrileyi ABOUT NEW EQUATION OF OPERATIONAL AND TACTICAL WORK OF THE STATE FIRE SERVICE

Created new equation of operational and tactical work of the state fire service and equation of operational and tactical work for south of Russia.

Key words: fire service, equation.

1. Введение

Необходимость выработки более эффективных способов и схем предотвращения и тушения пожаров обусловлена тем, что современные технологии идут по пути интенсификации параметров технологических процессов (давления, температур, концентраций, скоростей и пр.) и число отказов и аварий на объектах имеет тенденцию к возрастанию по следующим причинам [1-4]:

- из-за увеличения единичной мощности и сложности агрегатов;
- из-за ужесточения технологических режимов (приближение темпов процессов и эксплуатационных параметров рабочих сред к предельно допустимым, т.е. аварийно-пожаро-взрыво-опасным);
- из-за нестабильности качества (дисперсий наработки на отказ) заменяемых в процессе эксплуатации узлов и деталей;
- из-за повышения требований к реакции “человека-оператора” технологического процесса на штатные и нештатные ситуации, возможности которого объективно (сенсорная депривация, десинхронозы и т.п.) и субъективно (биоритмологическая коррекция, психологическая подготовка индивида) – ограничены.

Количественное наращивание сил и средств пожарной охраны, т.е. экстенсивный способ развития гарнизонов в XXI веке неприемлем, во-первых, из-за "затратной природы" самой государственной противопожарной службы (ГПС), т.к. она сама ничего не производит, во-вторых, из-за дефицита трудовых и материально-технических ресурсов в обществе и, в-третьих, из-за усложнения координации и управления этими ресурсами при нарастающем их количестве [5].

Необходимы качественные изменения деятельности ГПС [15], во-первых, за счет повышения оснащенности личного состава вычислительной техникой и средствами связи не менее чем до уровня оснащенности пожарно-техническим вооружением, во-вторых, за счет "интеллектуального вооружения" личного состава новейшими информационными технологиями, устраняющими рутинную работу и потери рабочего времени, а также снижающими трудоемкость процессов взаимодействия с объектами и субъектами, в-третьих, за счет обучения населения правилам пожарной безопасности и поведения на пожаре, в-четвертых, за счет оптимизации методов и средств противопожарной защиты объектов и населения [5-8].

2. Постановка задачи

Статистический анализ пожаров [5, 8], моделирование оперативно-тактической деятельности гарнизонов пожарной охраны (ГПО) [9-12] и исследование процессов, обуславливающих время развития пожаров [13, 14] и формирование потерь от них [1-5], позволили модифицировать традиционный алгоритм [15] решения оперативно-тактических задач (ОТЗ):

$$t_n = \sum_{i=1}^5 k_i t_i + t_m \prod_{m=1}^2 k_m + \sum_{j=1}^4 k_j t_j, \quad (1)$$

$$\sum k_i t_i = k_o t_o + k_{cp} t_{cp} + k_{cc} t_{cc} + k_{pd} t_{pd} + k_{cб} t_{cб}, \quad (2)$$

$$t_m \prod k_m = t_{cl} k_m k_{cd}, \quad (3)$$

$$\sum k_j t_j = k_p t_p + k_{бp} t_{бp} + k_l t_l + k_{лик} t_{лик}, \quad (4)$$

где t_n – время пожара; k_i, k_j, k_m – коэффициенты качества решения и выполнения ОТЗ; $t_{oб}$ – время обнаружения опасных факторов пожара (длительность процесса загорания до срабатывания пожарного извещателя); t_{cp} – время верификации обнаружения и включения оповещения (или обнаружения дыма/огня населением и т.д.); t_{cc} – время сообщения о пожаре (длительность процесса сообщения о пожаре в ПЧ средствами связи и сигнализации, посыльным и т.д.); t_{pd} – время решения диспетчером задачи высылки (длительность процесса идентификации объекта пожара, определе-

ния высланных сил и средств по расписанию выездов, формирования и передача приказа на выезд в ПЧ); $t_{c\bar{o}}$ – время сбора боевого расчёта по тревоге (длительность процесса сбора боевых расчетов и выезда пожарных автомобилей); t_{cl} – время следования к месту пожара (длительность процесса движения пожарных автомобилей к объекту пожара); t_p – время разведки (длительность процесса обнаружения очага пожара и пострадавших); $t_{\bar{o}p}$ – время боевого развертывания (длительность процесса спасения пострадавших, организации боевых участков, развертывания пожарнотехнического вооружения, постановки на водоисточники и т.д.); t_l – время локализации пожара (длительность процесса ограничения распространения огня огнетушащими составами, включая защиту окружающих помещений и объектов); $t_{лик}$ – время ликвидации пожара (длительность процесса подавления горения и обработки места пожара на предмет недопущения повторного воспламенения).

Анализ процессов формирования потерь от пожаров показал, что уменьшение временных компонент ($t_{i,j,m} \rightarrow 0$), т.е. увеличение скорости решения и выполнения ОТЗ сокращает ущерб, а снижение качества ($k_{i,j,m} \rightarrow \infty$) – увеличивает потери от пожаров. Таким образом, налицо неопределенности типа $\lim (t_{i,j,m} \cdot k_{i,j,m}) = 0 \cdot \infty$ в определении компонентов алгоритма, преобразование которых и раскрытие по правилам Лопиталья показало, что существует достаточная корреляция скорости и качества решения (выполнения) ОТЗ, функциональный анализ которых позволил определить указанные пределы и физический смысл коэффициентов качества.

Так сумма времён обнаружения ($t_{o\bar{o}}$) и сообщения ($t_{cp} + t_{cc}$) о пожаре в настоящее время не может быть менее 2,8 мин. [14, 16], что ограничено физическими принципами обнаружения (инерционностью ОФП, извещателей и т.д.), при этом коэффициенты качества имеют обратную зависимость от вероятностей (надежности срабатывания пожарного извещателя) достоверного обнаружения и сообщения о пожаре:

$$k_{o\bar{o}} = 1/P_{o\bar{o}} (1 < k_{o\bar{o}} < \infty), k_{cp} = 1/P_{cp} (1 < k_c < \infty), k_{cc} = 1/P_{cc} (1 < k_{cc} < \infty). \quad (5)$$

Время решения мобилизационной задачи ($t_{p\bar{o}}$) и сбора боевого расчета по тревоге ($t_{c\bar{o}}$) не может быть менее 45 секунд [17], при этом коэффициенты качества имеют ту же обратную зависимость от вероятностей правильного решения диспетчером задачи высылки сил и средств и готовности к выезду выбранного боевого расчета:

$$k_{p\bar{o}} = 1/P_{p\bar{o}} (1 < k_{p\bar{o}} < \infty) \text{ и } k_{c\bar{o}} = 1/P_{c\bar{o}} (1 < k_{c\bar{o}} < \infty). \quad (6)$$

Время следования (t_{cl}) к месту пожара, определяемое коэффициентами (качества) выбранного маршрута (k_m) и (скорости) движения (k_{cd}) пожарного автомобиля, как показали исследования [10-13], не может уменьшиться более чем в 3 раза (90 км/ч: 30 км/ч, где 30 км/ч – средняя скорость движения пожарного автомобиля в существующей системе управления движением) при среднем времени прибытия к месту пожара – 14,3 мин [5]. При этом коэффициент качества маршрута обратно пропорционален вероятности проезда по кратчайшему пути к месту пожара, а коэффициент скорости движения зависит от отношения вероятности достижения конструктивной скорости при движении к "невероятности" дорожно-транспортного происшествия с пожарным автомобилем:

$$k_m = 1/P_m \quad (1 < k_m < \infty) \quad \text{и} \quad k_{cd} = P_{cd}/(1-P_{dnn}) \quad (1 < k_{cd} < \infty). \quad (7)$$

Суммарное время разведки (t_p) и боевого развертывания ($t_{бр}$) не может быть менее 3,4 мин, что является рекордным на соревнованиях по пожарно-прикладному спорту, где "качество разведки максимально" ($k_p = 1/P_p = 1$), коэффициент которой определяет достоверность объекта и очага пожара (учебно-тренировочная пожарная башня), а также максимально качество боевого развертывания ($k_{бр} = 1/P_{бр} = 1$), определяющееся вероятностью соответствия оперативно-тактических возможностей пожарного автомобиля и его личного состава выполнению данной ОТЗ [17].

Минимум времени тушения достигается мгновенной ($t_l \rightarrow 0$) или длительной ($t_{лик} \rightarrow \infty$) подачей огнетушащих составов (ОТС) необходимой интенсивности, соответствующих классу и рангу пожара. При этом коэффициенты качества локализации ($k_l = 1/P_{отс} \cdot P_{ул}$) и ликвидации пожара ($k_{лик} = 1/P_{отс} \cdot P_{улик}$) обратно пропорциональны произведению вероятностей соответствия ОТС и интенсивности – требуемым, т.е. "качество максимально" (коэффициенты равны 1) при "безошибочности" оперативного плана пожаротушения и действий личного состава во главе с руководителем тушения пожара (РТП).

Процесс восстановления израсходованных ресурсов и постановки сил и средств в боевой расчет является завершающей ОТЗ, которая, как показывает моделирование, может рассчитываться по усеченному обратному алгоритму [12], при этом время восстановления ($t_{св} + t_{бр} + t_{cl} + t_{нбр}$) не может быть менее времени боевого развертывания ($t_{св}$ – "время свертывания"), если даже допустить, что реализована автоматизированная система пассивной локации для определения текущих

координат пожарных автомобилей, которая при начале движения боевого расчета с места пожара, после сбора пожарно-технического вооружения автоматически включает его в "динамический боевой расчет" и, при необходимости, может привлечь к боевым действиям с маршрута возвращения в пожарную часть, без восстановления израсходованных ресурсов [18-20].

При других ("стояночных") системах учета пожарной техники [21] время восстановления ресурсов и возвращения в ПЧ опишется по тем же формулам (2.2 – 2.4), но с другими временами и коэффициентами:

$$\sum k_{\ell} t_{\ell} = k_{св} t_{св} + k_{вр} t_{вр} + t_{сл} k_{м} k_{сд} + k_{нбр} t_{нбр}, \quad (8)$$

где $t_{св}$ – время свертывания пожарно-технического вооружения; $t_{вр}$ – время восстановления израсходованных ресурсов; $t_{нбр}$ – время постановки в боевой расчет.

Коэффициент качества свертывания и восстановления ресурсов одинаковы ($k_{св,вр} = 1 / (1 - P_{ис})$) и обратно пропорциональны вероятности "неиспользования" пожарно-технического вооружения, ОТС и личного состава пожарного автомобиля в боевых действиях, а время и коэффициент качества постановки в боевой расчет не могут быть меньше параметров сбора по тревоге ($k_{нбр} t_{нбр} > t_{сб} / P_{сб}$).

Синтез прямого и обратного алгоритмов позволил получить [12, 22] новое уравнение оперативно-тактической деятельности (ОТД), времена и вероятности в котором описываются соответствующими распределениями Эрланга [5, 9]:

$$t_{ОТД} = \sum_{i=1}^5 \frac{t_i}{P_i} + 2 \cdot \frac{t_m \cdot P_{сд}}{P_m (1 - P_{ДТП})} + \sum_{j,k=1}^5 \frac{t_j}{P_j \cdot P_k} + \sum_{\ell=1}^2 \frac{t_{\ell}}{1 - P_{\ell}} \quad (9)$$

$$y = \frac{\left(\frac{t}{c}\right)^{b-1} \cdot \exp\left(-\frac{t}{c}\right)}{c \cdot [(b-1)!]} \quad (10)$$

$$P = 1 - \exp\left(-\frac{t}{c}\right) \cdot \left[\sum_{i=0}^{b-1} \frac{(t/c)^i}{i!} \right] \quad (11)$$

3. Статистический анализ пожаров, способ и результаты решения уравнения ОТД

Многочисленные исследования продолжительности начальной стадии пожара показали [13, 14, 16], что более 70 % пожаров обнаруживаются после общей вспышки в помещении (объекте), т.е. через 10-15 минут после загорания.

Это обусловлено тем, что пожарная сигнализация, как правило, отсутствует (или не срабатывает) на подавляющем количестве объектов, что и подтверждается гистограммами "новых" времён: свободного развития (рис. 1), идентификации (рис. 2) и прибытия (рис. 3), разность средних значений которых и составляет 11,8 минут.

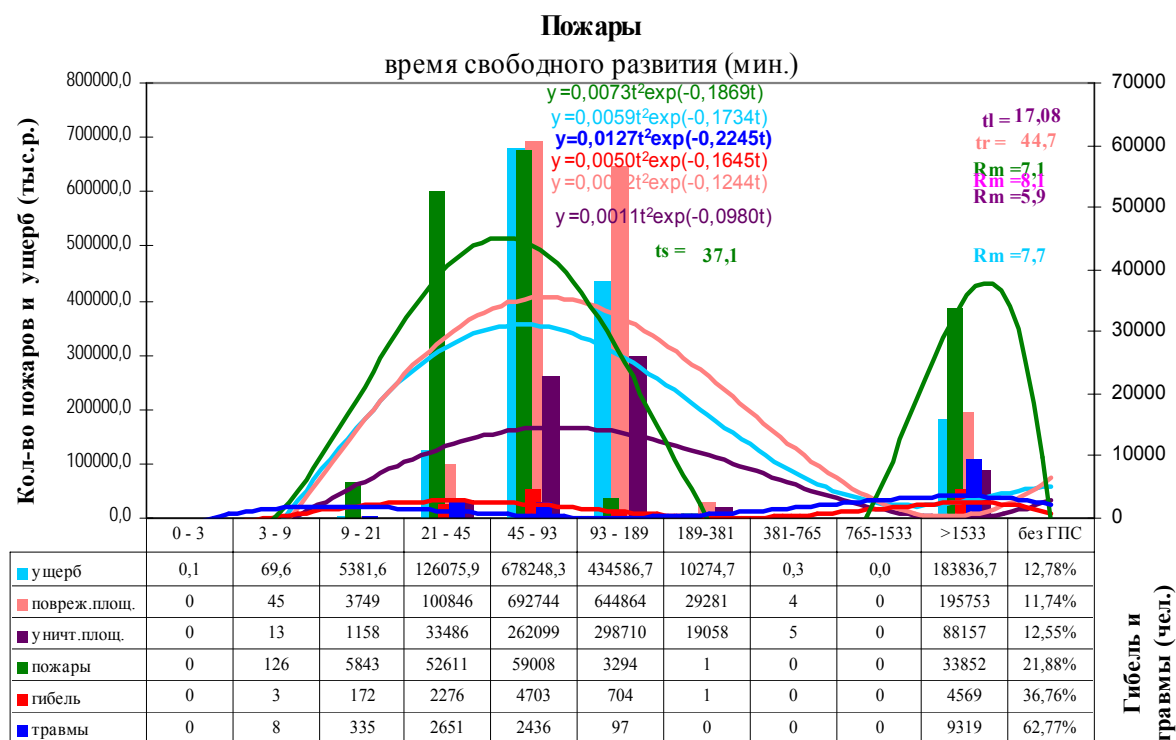


Рис. 1. Гистограммы потерь по времени свободного развития пожаров

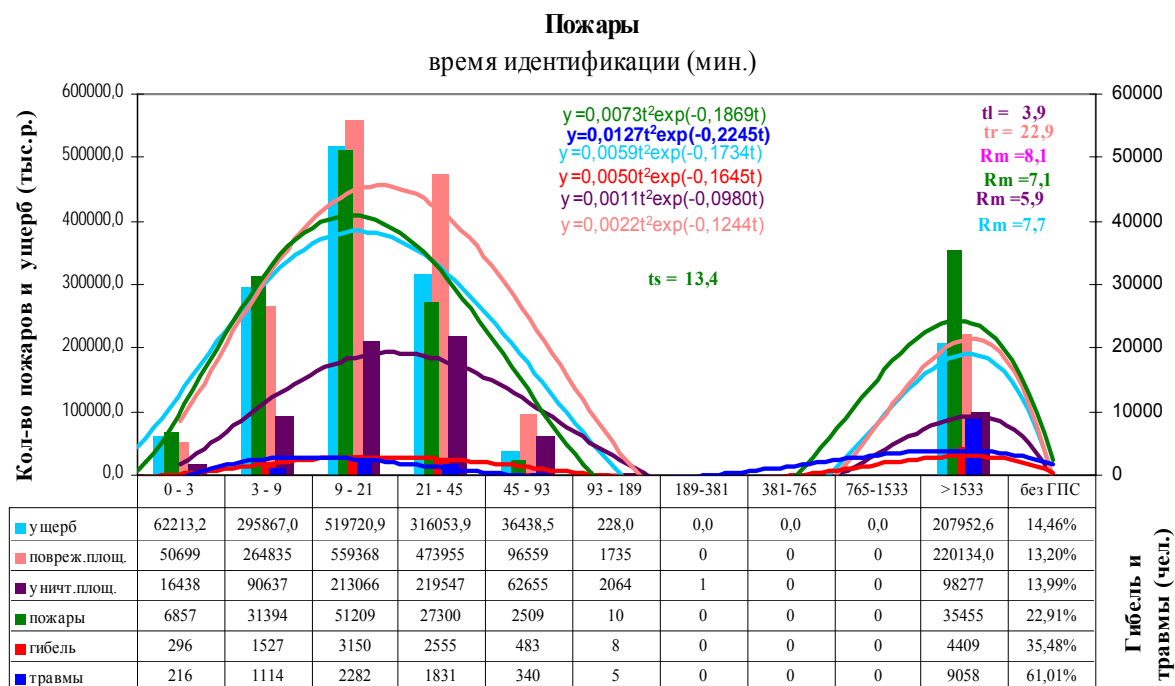


Рис. 2. Гистограммы и распределения Эрланга времени идентификации

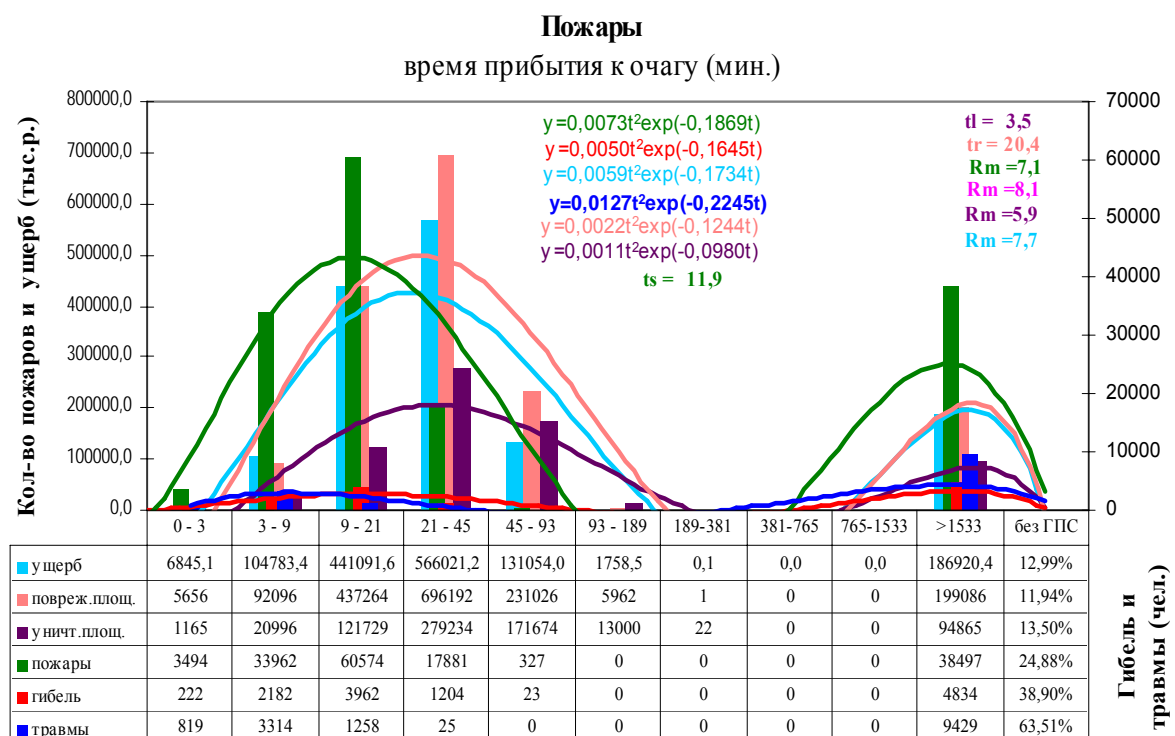


Рис. 3. Гистограммы и распределения Эрланга времени прибытия

Сравнивая вычисленные "новые" времена выполнения ОТЗ (рис. 2. и 3) и соответствующие "старые", легко объяснить "недостатки", "скрытые" в данных карточек учета пожаров, из которых сформированы базы данных в АСОД "ПОЖАРЫ" [23].

На гистограммах отчетливо видно, что наибольшее количество пожаров и ущерб от них на Юге России сосредоточены **за пределами оперативно-тактических возможностей гарнизонов:**

- ГПС не выезжала (время прибытия > 1533 минут) на каждый 4-й пожар (рис. 3 – 38497 или 24,88 % пожаров произошли без ГПС);

- в указанных пожарах погиб каждый 3-й (рис. 3 – 4834 или 38,90 % погибших без ГПС) и были травмированы 2 из 3-х (рис. 3 – 9429 или 63,51 % травмированных без ГПС) пострадавших от пожаров жителей Юга России;

- в них уничтожен каждый 7-й (рис. 3 – 94865 или 13,50 % без ГПС) и поврежден каждый 9-й (рис. 3 – 199086 или 11,94 % без ГПС) квадратный метр площади строений, а прямой ущерб составил – 186,92 млн. руб. или 12,99 % всех материальных потерь.

Среднее время сообщения о пожаре составляет 11,4 минут, в то время как фактическое получение информации об объекте пожара "заканчивается" только после решения диспетчером задачи идентификации и передачи в ПЧ приказа на выезд, что составляет 13,4 минут (рис. 2).

Среднее время прибытия равняется 10,4 минут, в то время как фактическое "прибытие" к очагу пожара "заканчивается" только после разведки и боевого развертывания, что составляет 11,9 минут (рис. 3).

Существенным при этом является тот факт, что вычисленное среднее время следования на пожар составляет всего 6,0 минут, в отличие от "старого" времени прибытия в 10,4 минут, в котором "спрятаны" времена диспетчерской задачи и сбора боевого расчета по тревоге.

Следовательно можно ввести понятие "**интервалов оперативной (тактической) деятельности**" гарнизона ГПС (ИОД), как временных интервалов в окрестностях моды (максимума) функций плотности вероятности количества пожаров, ограниченных её точками перегиба, то есть значениями времен t_{Li} и t_{Ri} , при которых $d^2y_i/dt_i^2 = 0$ [24].

Тогда, интегрируя функции плотности вероятности соответствующих параметров (пожаров, ущерба, гибели) в указанных интервалах, получаем количественную оценку фактической оперативно-тактической деятельности любого ГПО. Первообразные функции при этом получаются в виде [22, 24]:

$$\Delta_i = \left(1 - \exp\left(-\frac{t_{Ri}}{t_{Si}}\right) \cdot \left[\sum_{i=0}^{b-1} \frac{(t_{Ri}/t_{Si})^i}{i!} \right] \right) - \left(1 - \exp\left(-\frac{t_{Li}}{t_{Si}}\right) \cdot \left[\sum_{i=0}^{b-1} \frac{(t_{Li}/t_{Si})^i}{i!} \right] \right), \quad (12)$$

где t_{Si} – математические ожидания i -го параметра (ущерба, гибели и т.д.); t_{Li} , t_{Ri} – значения времен ОТ функций плотности вероятности количества пожаров; Δ_i – изменение искомого i -го параметра в ИОДе.

Сравнивая фактические параметры любого ГПО с его моделью, построенной в результате решения уравнений ОТД для данного ГПО, в т.ч. при "виртуальном" внедрении оперативно-профилактических мероприятий, можно оценить количественно, т.е. через изменение ущерба, гибели, травм, уничтоженных и поврежденных площадей, техники и т.д. – эффективность, "достоинства и недостатки" организации системы пожарной безопасности (неоптимальность размещения, недоукомплектованность пожарно-техническим вооружением и личным составом, недостаточность средств пожарной сигнализации и связи и т.п.).

Иными словами, изменения соответствующих параметров (пожаров, ущерба, гибели и т.д.) в ИОДах могут служить характеристиками оперативно-тактической деятельности каждого ГПО, при этом каждый параметр может быть проанализирован на предмет связи оперативно-тактической деятельности ГПО с его стратегической задачей – профилактикой пожаров (по корреляции причин и времени развития, числа пожаров и нарушений ППБ, мест возникновения и ущерба, гибели и времени воздействия ОФП и т.п.).

Дифференциация времён выполнения ОТЗ и новое уравнение ОТД (9) позволяют проанализировать всю структуру оперативно-тактической деятельности ГПС и найти коэффициенты качества выполнения каждой ОТЗ в любом гарнизоне ГПС по граничным условиям.

Благодаря новой методологии "виртуального внедрения" организационно-технических мероприятий [5], изменяющих коэффициенты качества и времена выполнения любой ОТЗ, появилась возможность оценить их эффективность по сокращению социально-экономических потерь как на начальной стадии пожаров, используя функцию распределения времени свободного развития пожара, так и на заключительной стадии – по функциям распределения времени тушения пожара.

По Югу России, в соответствии с результатами вычислений, уравнение ОТД (9) выводится следующим образом.

Коэффициенты качества и соответствующие вероятности начальной стадии пожаров определим по формулам:

$$\sum_{i=1}^5 t_i k_i = \frac{t_{об}}{P_{об}} + \frac{t_{cp}}{P_{cp}} + \frac{t_{cc}}{P_{cc}} + \frac{t_{pд}}{P_{pд}} + \frac{t_{сб}}{P_{сб}}. \quad (13)$$

В качестве времён, коэффициентов качества и соответствующих вероятностей обнаружения пожаров "идеальной модели" используем результаты статистического анализа надёжности АПС [25, 26], из которого следует:

$P_{об}$ – определяется, как вероятность безотказной работы "усредненного" пожарного извещателя, которая равна 0,99176;

$P_{ср}$ – определяется, как произведение вероятностей достоверного срабатывания (отсутствие ложного срабатывания) "усредненного" пожарного извещателя, его безотказной работы, а также схемы верификации (отсеивание ложного срабатывания) и безотказной работы "усредненного" приемно-контрольного прибора, которое равно 0,89688;

$P_{сс}$ – вероятность безотказной работы "усредненного" приемно-контрольного прибора, которая равна 0,96175;

$t_{об}$ – время срабатывания "усредненного" пожарного извещателя, которое равно 2,8 мин.;

$t_{ср}$ – время работы схемы верификации "усредненного" приемно-контрольного прибора, которое равно 0,2 мин.;

$t_{сс}$ – время передачи сигнала тревоги в ПЧ "усредненным" приемно-контрольным прибором, которое равно 0,1 мин.

Подставляя указанные результаты в уравнение (13), получим

$$\sum_{i=1}^5 t_i k_i = \frac{P_{ср} P_{сс} t_{об} + P_{об} P_{сс} t_{ср} + P_{об} P_{ср} t_{сс}}{P_{об} P_{ср} P_{сс}} + \frac{t_{р\delta}}{P_{р\delta}} + \frac{t_{с\delta}}{P_{с\delta}} = t_{АПС} + (t_{р\delta} + t_{с\delta}). \quad (14)$$

Учитывая граничные условия, т.е. $(t_{р\delta} + t_{с\delta}) = 1,033$ мин. и $P_{р\delta} = P_{с\delta} = 1$, получим

$$t_{АПС} + (t_{р\delta} + t_{с\delta}) = 3,1502 + 1,0333 = 4,1835, \quad (15)$$

после чего (через отношения с T_C) можно определить "текущий коэффициент качества" и вероятность сообщения о пожаре на Юге России:

$$k_C = T_C / 4,1835 = 2,733 \text{ и } P_C = 4,1835 / T_C = 0,366. \quad (16)$$

Коэффициенты качества и соответствующие вероятности прибытия боевых расчетов на пожар определяются из выражения:

$$t_m \cdot \prod k_m = t_{сл} k_m k_{с\delta} = \frac{t_{сл} \cdot P_{с\delta}}{P_m (1 - P_{ДТП})}, \quad (17)$$

где P_{cd} – вероятность достижения конструктивно-возможной скорости движения ПА, которая вычисляется отношением средней скорости "усредненного ПА" к его паспортной скорости, т.е. $38,5/70,0 = 0,5506$.

Для расчёта вероятности ДТП используем модифицированную интенсивность ДТП для боевого расчета ПА [27] – $\lambda_{ДТП} = 1,63 \cdot 10^{-6}$ ДТП/км и, зная средний радиус выезда на пожары по Югу России, получим:

$$P_{ДТП} = 1 - \exp(-1,63 \cdot 10^{-6} \text{ ДТП / км} \cdot 10,7 \text{ км}) = 0,00001744. \quad (18)$$

Коэффициент качества маршрута, т.е. вероятность проезда ПА по кратчайшему пути к месту пожара, можно представить как соответствующие отношения "средненормативного" [15, 17] и среднего радиусов выезда:

$$k_m = \frac{R_C}{R_H} = \frac{2 \cdot 10,7}{3 + 5} = 2,68672 \text{ и } P_m = 4,1835/T_C = 0,3722. \quad (19)$$

Тогда "текущий коэффициент качества" и вероятность прибытия на пожар можно вычислять через соответствующие отношения "средненормативного" времени прибытия ($t_n = 60R_H/V_H$) и среднего времени прибытия, которые для Юга России составляют:

$$k_{\Pi} = T_{\Pi} \cdot V_H / 60R_H = 10,4 \cdot 70 / 60 \cdot (3 + 5) = 1,51667 \quad (20)$$

$$\text{и } P_{\Pi} = 1/k_{\Pi} = 0,65934.$$

Коэффициенты качества и соответствующие вероятности заключительной стадии пожаров определим по формулам:

$$\begin{aligned} \sum k_j t_j &= k_p t_p + k_{\text{бр}} t_{\text{бр}} + k_l t_l + k_{\text{лик}} t_{\text{лик}} = \\ &= \frac{t_p}{P_C \cdot P_{\text{ч}}} + \frac{t_{\text{бр}}}{P_C \cdot P_{\text{ч}}} + \frac{t_l}{P_C \cdot P_{\text{ил}}} + \frac{t_{\text{лик}}}{P_C \cdot P_{\text{илик}}}. \end{aligned} \quad (21)$$

Для получения интегрального коэффициента качества и вероятности "локализации" пожаров, разгруппируем уравнение (21) на два:

$$k_{\text{л}} T_{\text{л}} = \frac{t_p}{P_C \cdot P_{\text{ч}}} + \frac{t_{\text{бр}}}{P_C \cdot P_{\text{ч}}} + \frac{t_l}{P_C \cdot P_{\text{ил}}} \quad \text{и} \quad k_{\text{лик}} t_{\text{лик}} = \frac{t_{\text{лик}}}{P_C \cdot P_{\text{илик}}}. \quad (22)$$

"Интегральный" коэффициент качества (k_{II}) локализации пожара, определится из отношения времени локализации T_L к нормативу времени пожарно-прикладного спорта по боевому развертыванию от пожарного автомобиля (с постановкой на водоисточник и прокладкой двух линий: учебная башня и мишень) $T_M = 3,4$ мин. [17] и составит для Юга России:

$$k_L = T_L / T_M = 4,7259. \quad (23)$$

Для вычисления P_C воспользуемся данными в карточках учета пожаров, характеризующими изменение ранга пожаров, т.е. фиксирующими дополнительное привлечение сил и средств, что отражает код выборки #82/>2, при котором для тушения пожара привлекаются более 2-х ПА [23]. Тогда отношение числа таких пожаров к их общему количеству определит вероятность "недостаточности" высланных сил и средств, а вычитание полученного результата из единицы даст вероятность соответствия сил и средств (P_C), которая для Юга России (15,15 %) составит:

$$P_C = 1 - 0,1515 = 0,8485. \quad (24)$$

Для вычисления вероятности выезда личного состава ($P_{\text{ч}}$) с численностью, достаточной для выполнения ОТЗ, воспользуемся данными в карточках учета пожаров, характеризующими участников пожаров #80/= 1, т.е. фиксирующими, что пожар потушен силами и средствами ПЧ [23]. Тогда отношение числа таких пожаров к их общему числу и определит искомую вероятность, которая для Юга России составит:

$$P_{\text{ч}} = 0,6294. \quad (25)$$

Подставляя полученные значения и соответствующие "новые времена" в первое уравнение (22), получим вероятность локализации пожара интенсивностью подачи ОТС участниками пожаротушения (P_{II}):

$$4,7259 \cdot 16,1 = \frac{7,7}{0,8485 \cdot 0,6294} + \frac{4,9}{0,8485 \cdot 0,6294} + \frac{5,7}{0,8485 \cdot P_{II}}, \quad (26)$$

откуда $P_{II} = 0,1283$, а коэффициенты качества и вероятности в уравнении (22) равны:

$$k_p t_p + k_{\text{оп}} t_{\text{оп}} + k_L t_L = 1,8725 t_p + 1,8725 t_{\text{оп}} + 9,1859 t_L. \quad (27)$$

Очевидно, что вероятности соответствия (P_C) и интенсивности (P_{II}) определяют и качество ликвидации пожаров, поэтому, подставляя их значения во второе уравнение (22), получим:

$$k_{лик} t_{лик} = \frac{t_{лик}}{0,8485 \cdot 0,1283} = 9,1859 t_{лик}. \quad (28)$$

Нетрудно показать, что вероятность соответствия (P_C) практически равна вероятности правильного решения диспетчером задачи привлечения сил и средств (P_{pd}), а коэффициент качества ($k_{сб}$) и вероятность сбора по тревоге ($P_{сб}$) определится соответствующими отношениями среднего времени сбора ($t_{сб}$) к "усредненному по типам ПА" нормативу ($T_{СБ} = 1,0333$):

$$k_{сб} = t_{сб} / T_{СБ} = 3,1 / 1,0333 = 2,9532, \quad (29)$$

$$k_{pd} t_{pd} = \frac{t_{pd}}{0,8485} = 1,1786 t_{pd}. \quad (30)$$

В соответствии с уравнением (8) и граничными условиями, параметры ОТЗ по возвращению боевых расчетов в ПЧ получим в следующем виде:

$$4,7259 t_{оп} / (1 - 0,5340) = t_{св} - \text{время "свертывания ПТВ"}, \quad (31)$$

$$1,5168 t_{сб} / (1 - 0,3386) = t_{нбп} - \text{время постановки в боевой расчёт}. \quad (32)$$

Вероятность "неиспользования" ПТВ можно оценить как отношение к числу пожаров, на которые ГПС выезжала, количества пожаров, потушенных ресурсами автоцистерн (код выборки #87/ = 8), т.е. без постановки на водисточник [23], что для Юга России составляет 3,79 %:

$$(1 - P_{uc}) = 0,0379 \rightarrow P_{uc} = 0,9621. \quad (33)$$

Тогда коэффициент качества и время восстановления ресурсов можно рассчитать по времени забора воды "усредненной по типам ПА автоцистерной" $(6,5 + 7,0 + 18,0) / 3$:

$$k_{вп} t_{вп} = 10,5 / (1 - P_{uc}) \quad \text{при} \quad k_{г} = 26,395. \quad (34)$$

Подставляя в формулу (9) полученные времена, коэффициенты качества и вероятности, получим новое уравнение ОТД для Юга России:

$$\begin{aligned}
 t_{\text{ОТД}}(\text{мин.}) = & 2,7333 \cdot \left(\frac{t_{\text{об}}}{0,99176} + \frac{t_{\text{сп}}}{0,89688} + \frac{t_{\text{сс}}}{0,96175} \right) + \\
 & + 1,5168 \cdot \left(\frac{t_{\text{pd}}}{0,8485} + \frac{t_{\text{сб}}}{0,3386} + \frac{0,5506t_{\text{сл}}}{0,3722(1-17,44 \cdot 10^{-5} \cdot R_c)} \right) + \\
 & + 4,7259 \cdot \left(\frac{t_p}{0,5340} + \frac{t_{\text{бп}}}{0,5340} + \frac{t_l}{0,1089} \right) + 9,1859 t_{\text{лик}} + \frac{4,7259 t_{\text{бп}}}{1-0,5340} + \\
 & + 277,2 + 1,5168 \cdot \left(\frac{0,5506t_{\text{сл}}}{0,3722(1-17,44 \cdot 10^{-5} \cdot R_c)} + \frac{t_{\text{сб}}}{1-0,3386} \right).
 \end{aligned} \tag{35}$$

По полученному уравнению ОТД удобно проводить функциональный анализ [5], в том числе с учётом аналитической связи со "старыми временами ОТЗ",

$$T_{\text{II}} = 1,5168 \cdot \left(\frac{t_{\text{pd}}}{0,8485} + \frac{t_{\text{сб}}}{0,3386} + \frac{0,5506t_{\text{сл}}}{0,3722(1-17,44 \cdot 10^{-5} \cdot R_c)} \right), \tag{36}$$

$$T_C = 2,7333 \cdot \left(\frac{t_{\text{об}}}{0,99176} + \frac{t_{\text{сп}}}{0,89688} + \frac{t_{\text{сс}}}{0,96175} \right), \tag{37}$$

$$T_L = 4,7259 \cdot \left(\frac{t_p}{0,5340} + \frac{t_{\text{бп}}}{0,5340} + \frac{t_l}{0,1089} \right), \tag{38}$$

$$T_{\text{ЛИК}} = 9,1859 t_{\text{лик}}. \tag{39}$$

Так коэффициент качества при T_C свидетельствует о том, что только в 36,59 % случаев (1/2,7333) в обнаружении и сообщении о пожарах, на которые привлекалась ГПС, использовались пожарные извещатели и средства связи. При этом вероятности обнаружения (0,99176), срабатывания (0,89688) и сообщения (0,96175) характеризуют низкий уровень надежности имеющихся установок АПС. Если "добавить" к оставшимся 63,41 % пожаров 22,91 %, на которые ГПС не выезжала, то получающийся показатель 86,32 % свидетельствует о чрезвычайно низком уровне (13,68 %) применения технических средств обнаружения и сообщения о пожаре, что

подтверждается статистикой пожаров на объектах, оборудованных АПС и АУП, составляющих по Югу России 0,76 %.

Коэффициент качества при $T_{Д}$ свидетельствует о том, что время реакции гарнизонов ГПС, т.е. прибытия к месту пожара, только в 65,93 % случаев (1/1,5168) соответствует среднему радиусу выезда ($R_C = 10,7$ км), который, в свою очередь, более чем в 2 раза превышает нормативный. При этом вероятность достижения ПА своей конструктивной скорости (0,5506) говорит о неудовлетворительном состоянии дорожно-транспортной инфраструктуры, а вместе с вероятностью ДТП ($1,866 \cdot 10^{-4}$) свидетельствуют о том, что уровень системы управления дорожным движением (0,999813) более чем в 500 раз ниже установленной ГОСТ 12.1.004 безопасности населения (0,999999). Низкая вероятность оптимальной маршрутизации (0,3722), т.е. привлечения сил и средств по кратчайшим маршрутам, характеризует неадекватность оперативных планов и неоптимальность дислокации ПЧ, а вместе с невысокой вероятностью правильного решения задачи диспетчером (0,8485) – низкий уровень автоматизации при решении ОТЗ.

Коэффициент качества при $T_{Л}$ свидетельствует о том, что время локализации, т.е. разведки, боевого развертывания и локализации пожара только в 21,16 % случаев (1/4,7259) соответствует нормативам. Практически равновероятные значения при временах разведки и боевого развертывания (0,5340) свидетельствуют об отсутствии необходимого информационного обеспечения боевых расчетов о каждом 2-м объекте пожара, а низкая вероятность локализации (0,1089) характеризует тот факт, что только на 1-м из 10 пожаров привлеченные силы и средства (численность, тип и интенсивность подачи ОТС) соответствуют классу и рангу пожара.

Коэффициент качества при $T_{Лик}$ свидетельствует о том, что время ликвидации только в 10,89 % случаев (1/9,1859) соответствует оптимальному, т.е. только на каждом 9-м пожаре привлеченные силы и средства (численность, тип и интенсивность подачи ОТС) соответствуют классу и рангу пожара.

Одним из принципов проверки правильности любых гипотез и теорий является установление их "предсказательной силы", т.е. свойства предсказуемости с их помощью событий, новых качественных и количественных параметров исследуемых процессов.

С помощью полученного уравнения оперативно-тактической деятельности, моделей оперативно-тактических задач и их граничных решений оказалось возможным прогнозировать пути совершенствования противопожарной обороны административно-территориальных единиц (АТЕ).

Прогноз 1. Детальный анализ 1-го и 3-го членов уравнения оперативно-тактической деятельности (21) по граничным условиям показал, что самым эффективным направлением совершенствования ОТД является путь создания автоматизированных средств и систем радиобнаружения пожаров и пожарной техники с пассивной локацией радиообъектов [18]. А при учете результатов анализа 2-го и 4-го членов того же уравнения [12] определяется оптимальная архитектура такой системы, как совокупность централизованной (на уровне района) подсистемы радиобнаружения пожаров и пожарной техники [19], при этом "районная пожарная каланча" (рукавная башня ПЧ) получает "вторую жизнь" в виде здания-мачты (50- или 100-метровой высоты), несущей в себе аппаратуру радиобнаружения и лазерного зондирования, на балконах которой располагаются УКВ антенны, а на крыше –лидар (рис. 4).

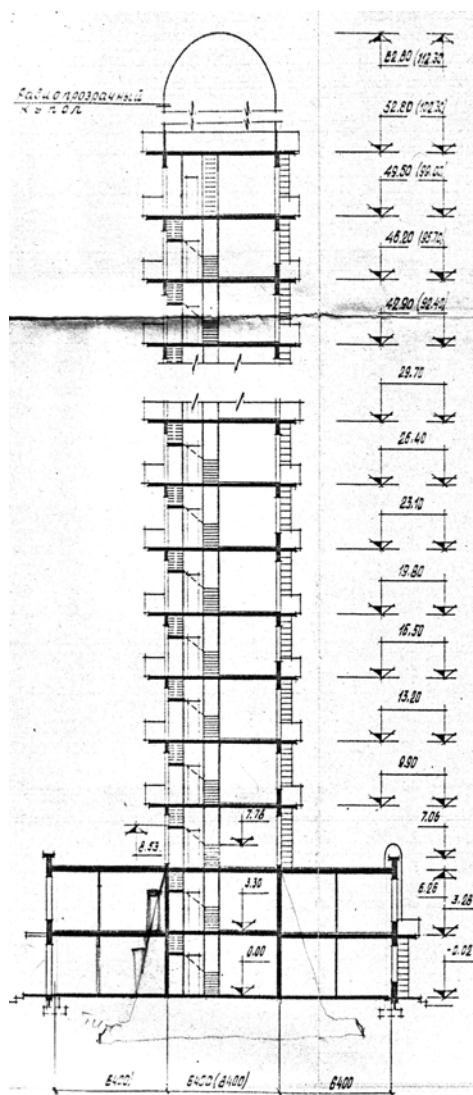


Рис. 4. Здание-мачта

Прогноз 2. Анализ 2-го и 4-го членов уравнения оперативно-тактической деятельности показал, что наличие геоинформационной системы контроля за районом (наличие поэтажных планировок на каждый объект в электронной базе данных ЦУСС) дает возможность перейти от "рангового метода" привлечения сил и средств к "безранговому" – автоматизированному расчету оперативного плана пожаротушения на каждый объект, где возник пожар, за время сбора боевого расчета по тревоге [28], т.е. в реальном масштабе времени, и сделать его оптимальным, включая привлечение боевых расчетов (прогноз 1) с маршрута возвращения.

Прогноз 3. Такая же глубокая взаимосвязь была обнаружена при анализе 2-го члена уравнения ОТД, когда при моделировании оптимальной системы управления движением пожарной техники "красная волна" (рис. 5) появилась необходимость в средствах оперативного контроля координат пожарных автомобилей (см. прогноз 1), а сокращение маршрутов следования и времени их движения к месту пожара (и возвращения в пожарную часть) позволили синтезировать оптимальные алгоритмы расчета оперативных планов пожаротушения (см. прогноз 2).

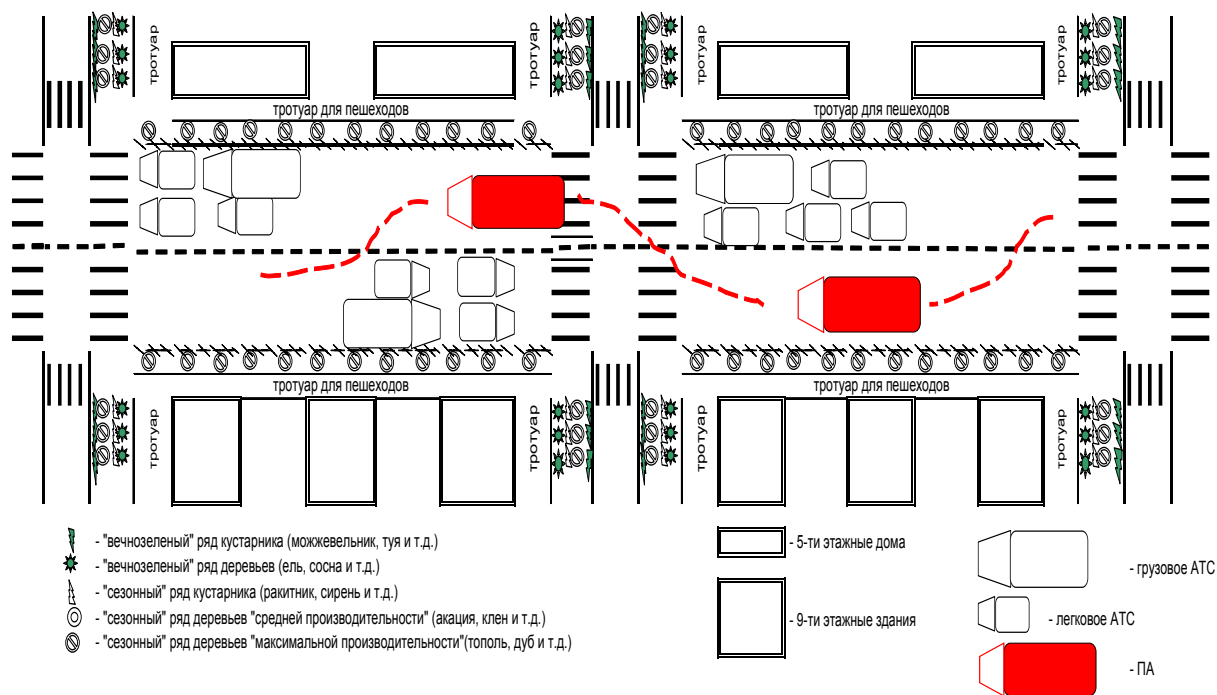


Рис. 5. Иллюстрация модели "Красная волна"

Прогноз 4. Совместный анализ 3-го и 4-го членов уравнения ОТД позволил сформулировать требования к оптимальному импульсному и газовому пожарно-техническому вооружению (стационарным, мобильным и носимым установкам), а также к техническим средствам ("скорой пожарной помощи", "азотной мотопомпы" и "пожарного вертолета") доставки огнетушащих составов (рис. 6), оснащённых "бесконечными источниками огнетушащего состава" (БИОТС), использующими метод термоманнитной сепарации воздуха [29, 30] на кислород (парамагнетик) и азот (с остальными атмосферными газами-диамагнетиками).



Рис. 6. ПТВ с БИОТС

Прогноз 5. Имитационное моделирование на ЭВМ "возможных пожаров" по новому уравнению ОТД на любых объектах с помощью геоинформационной модели их пожарной опасности позволит по социальным и экономическим оценкам "виртуальных последствий" выбирать оптимальное решение по противопожарной защите каждого объекта и "замкнуть" наконец профилактическую и оперативно-тактическую деятельность пожарной охраны в "жизненном цикле" объектов [5, 16, 28, 31].

Литература

1. Белозеров В.В., Гаврилей В.М. Концепция мониторинга ноосферы и прогнозирование аварий и пожаров // Материалы XI науч.-практ. конф. "Проблемы предотвращения и тушения пожаров на объектах народного хозяйства". - М.: ВНИИПО, 1992. – С. 32-35.
2. Белозеров В.В., Иванников В.Л., Топольский Н.Г., Шпак Л.А. Новые средства оценки пожарной опасности и предотвращения пожаров в изделиях электронной техники и электроустановках // Сб. тр. семинара "Проблемы пожарной безопасности АЭС". – М.: Интератомэнерго, 1992. – С. 18-27.
3. Баранов П.П., Белозеров В.В., Ворович И.И., Кураев Г.А., Панич А.Е., Труфанов В.Н., Топольский Н.Г. Методология оценки и управления безопасностью техносферы // Материалы 7-й Всерос. науч.-практ. конф. "Техносферная безопасность". – Ростов н/Д: РГСУ (ЮРО РААСН), 2002. – С. 67-73.
4. Белозеров В.В., Босый С.И., Мотин В.Н., Панич А.Е. Вероятностно-физические модели надежности, качества и безопасности в высоких технологиях приборостроения // Материа-

лы Всерос. науч.-практ. конф. "Техносферная безопасность. Надежность. Качество. Энергосбережение". – Ростов н/Д: РГСУ (ЮРО РААСН), 2003. – С. 519-530.

5. Белозеров В.В., Богуславский Е.И., Топольский Н.Г. Модель оптимизации социально-экономических потерь от пожаров // Сб. науч. трудов "Проблемы информационной экономики", Вып. VI. "Моделирование инновационных процессов и экономической динамики" / под ред. Р.М.Нижегородцева. – М.: ЛЕНАНД, 2006. – С. 226-247.

6. Белозеров В.В. ИКТ и компетентностный подход к безопасности жизнедеятельности в условиях реализации инновационных программ в образовании / Материалы II Всерос. науч.-практ. конф. "Психолого-педагогические исследования качества образования в условиях инновационной деятельности образовательного учреждения". – Славянск-на-Кубани: Изд. центр СГПИ, 2009. – С. 34-37.

7. Белозеров В.В., Гаврилей В.М., Любимов М.М. К вопросу о системах комплексной безопасности // "Глобальная безопасность". – 2009. – № 1. – С. 144-151.

8. Белозеров В.В., Прус Ю.В., Топольский Н.Г. Информационные технологии в некоторых задачах безопасности жизнедеятельности // Материалы 18-й междунар. конф. "Системы безопасности" – СБ-2009". – М: Академия ГПС МЧС России, 2009. – С. 66-69.

9. Брушлинский Н.Н. Моделирование оперативной деятельности пожарной службы.-М.: Стройиздат, 1981. – 96с.

10. Черная Л.В. Оптимизация мобилизации сил и средств пожарной охраны при пожаре, Дипл. работа. – Новочеркасск: НПИ, 1985. -123 с.

11. Мирошникова С.В. Моделирование движения пожарной техники на пожар /Дипл. работа – Новочеркасск: НПИ, 1985. -96 с.

12. Белозеров В.В., Березин В.А., Максимчук В.М., Малинин Н.Н. Оптимизация оперативно-тактической деятельности гарнизонов пожарной охраны // Материалы VII научно-практ. конф. "Проблемы предотвращения и тушения пожаров на объектах народного хозяйства". - М.: ВНИИПО, 1987. – С. 148-149.

13. Молчадский И.С., Зернов С.И. Определение продолжительности начальной стадии пожара // Пожарная профилактика. – М.:ВНИИПО, 1981. - С. 26-45.

14. Белозеров В.В., Бойко С.И., Колганов В.А. Метод обоснования автоматизированной системы обнаружения и сообщения о пожаре // Организационно-управленческие проблемы пожарной охраны. - М.: ВНИИПО, 1986. – С. 56-63.

15. Кимстач И.Ф., Девлишев П.П., Евтюшкин Н.М. // Пожарная тактика. – М.: Стройиздат, 1984. - 590 с.

16. Белозеров В.В., Богуславский Е.И., Бойко С.И., Бушкова Е.С., Гаврилей В.М., Глушко А.А., Деморацкий В.Н., Топольский Н.Г. Адаптивная система пожарной безопасности жизнедеятельности // материалы Междунар. конф. "Наука и будущее: идеи, которые изменяют мир". – М.: Фонд "Наука и будущее", 2005. - С. 20-25.

17. Тербнев В.В., Грачев В.А., Подгрушный А.В., Тербнев А.В. Пожарно-строевая подготовка: Уч. пос. - М.: Академия ГПС МЧС России, Колан-Форт, 2004. – 336 с.

18. Афанасьев В.В., Белозёров В.В., Киреев Ю.А. Проектирование автоматизированной системы управления пожарной охраной региона // Сб. науч. тр. "Техника пожарной и охранной сигнализации". – М.: ВНИИПО, 1985. - С. 82-85.

19. Техничко-экономическое обоснование автоматизированной системы взаимодействия аварийных служб Ростовской области (АСВАС). – М.: ВНИИПО, 1985. -109с.

20. Белозеров В.В., Плахотников Ю.Г. Модель вычислительно-связной системы с пассивной локацией радиообъектов, для обеспечения безопасности жизнедеятельности // Материалы Всерос. науч.-практ. конф. "Техносферная безопасность, надежность, качество, энергосбережение".- Ростов н/Д: РГСУ (ЮРО РААСН), 2009. - С. 332-342.

21. Лихачев М.С., Радкевич И.Л., Стрельников Г.И. Математическое моделирование системы централизованной охраны // Сб. научн. тр. "Техника охранной и пожарной сигнализации". - М.: ВНИИПО, 1983. -С. 99-105.

22. Белозеров В.В., Бойко С.И. Моделирование оперативно-тактической деятельности гарнизонов пожарной охраны // Материалы 9-й Междунар. конф. "Системы безопасности – СБ-2000". – М.: Академия ГПС МВД РФ, 2000. – С. 135-138.
23. Статистика пожаров / Руководство пользователя – версия 05.10.95. – М.: ВНИИПО, 1995. – 50 с.
24. Белозеров В.В., Глушко А.А., Кононенко Р.А. Дифференциальная модель решения оперативно-тактических задач противопожарной службы // Материалы Всерос. науч.-практ. конф. "Техносферная безопасность. Надежность. Качество. Энергосбережение.". – Ростов н/Д: РГСУ (ЮРО РААСН), 2004. – С. 312-317.
25. Шаровар Ф.И. Принципы построения устройств и систем автоматической пожарной сигнализации. – М.: Стройиздат, 1983. – 231 с.
26. Буцынская Т.А., Шакирова А.Ф. Классификатор приёмно-контрольных приборов систем тревожной сигнализации // Материалы 18-й междунар. конф. "Системы безопасности – СБ 2009". – М.: Академия ГПС МЧС РФ, 2009. – С. 71-74.
27. Кавтырев А.В. Безопасность боевого расчета при движении к месту пожара // Сб. "Безопасность людей на пожарах". – М.: ВНИИПО, 1982. – С. 65-71.
28. Белозеров В.В., Жигула И.А., Мельниченко Н.А., Прус Ю.В. Геоинформационные системы и безранговый метод привлечения сил и средств на пожар // Материалы Всерос. науч.-практ. конф. "Техносферная безопасность. Надежность. Качество. Энергосбережение.". - Ростов н/Д: РГСУ (ЮРО РААСН), 2005. – С. 388-393.
29. Белозеров В.В. О применении термомагнитных сепараторов воздуха // Материалы 18-й междунар. конф. "Системы безопасности – СБ-2009". – М.: Академия ГПС МЧС РФ, 2009. – С.69-73.
30. Белозеров В.В., Видецких Ю.А., Викулин В.В., Гаврилей В.М., Мешалкин Е.А., Назаров В.П., Новакович А.А., Прус Ю.В. "БАКСАН-ПА": автомобиль скорой пожарной помощи // Современные наукоемкие технологии, № 4, 2006. – М.: РАЕ. – С. 87-89.
31. Белозеров В.В., Бушкова Е.С., Ушак А.Т., Прус Ю.В., Топольский Н.Г. Геоинформационная вероятностная физико-химическая модель пожарной безопасности техносферы // Материалы 7-й Всерос. науч.-практ. конф. "Техносферная безопасность". – Ростов н/Д, 2002. – С. 27-33.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 26 февраля 2010 г.