

УДК 614.8

В.М. СТРЕЛЕЦ, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,
В.Б. ГРИЦАЙ

Академия пожарной безопасности Украины

СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОБОСНОВАНИЯ НОРМАТИВОВ БОЕВОГО РАЗВЕРТЫВАНИЯ ПОЖАРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ВООРУЖЕНИЯ

Рассмотрены особенности разработки нормативов боевого развертывания пожарной техники. Предложен метод обоснования нормативов боевого развертывания пожарно-технического вооружения. Показано, что для их оценки могут использоваться результаты как физического, так и имитационного моделирования боевой работы пожарных

1. Особенности разработки нормативов как обоснования частных эргономических требований к результатам боевой работы

В практике подразделений аварийных служб используется большое количество различных вариантов боевого развертывания специальной техники. Так, в пожарной охране их более пятидесяти, если рассматривать только основные пожарные автомобили и не детализировать количество рукавов в магистральных и рабочих линиях. Штатное оборудование, которое используется в ходе боевого развертывания, позволяет обеспечить подготовку боевых расчетов, однако оценить качество ее достаточно затруднительно. Это объясняется тем, что, например, в действующих Нормативах по пожарно-строевой подготовке [1] только лишь незначительное количество (всего двенадцать) вариантов боевого развертывания имеют соответствующие нормативы. Не предусмотрен порядок обоснования нормативов боевого развертывания пожарно-технического вооружения и для создаваемых пожарных автомобилей. В результате объективная оценка уровня подготовленности боевых расчетов затруднена, как затруднено и уточнение основных направлений в совершенствовании использования оборудования личным составом.

Таким образом, использование штатного пожарно-технического вооружения в качестве технических средств эргономической оценки возможно только при наличии научно-обоснованных нормативов его боевого развер-

тывания. В то же время, порядок их обоснования отсутствует.

Под нормативом понимается [2] сопоставительная норма, которая в своей основе имеет сравнение людей, принадлежащих к одной и той же совокупности. Чаще всего в качестве критерия при установке норматива используют процент личного состава (боевых расчетов, звеньев и т.д.), которому доступна норма.

В рассматриваемом случае под нормативом понимается фактическая величина времени выполнения боевого развертывания, которая служит основанием для отнесения испытуемых к одной из классификационных групп и является показателем качества рассматриваемой системы «человек–машина» (СЧМ), которая в рассматриваемом случае представляет собой систему «пожарный–средства пожаротушения и защиты». Поскольку разработка нормативов имеет в своей основе сравнение результатов одних испытуемых с результатами других испытуемых, то сопоставительные нормы могут быть построены путем отнесения соответствующего процента рассматриваемого личного состава к нормативу, который ему посилен.

Из вышеизложенного следует, что на начальном этапе разработки норматива функционально-целевое [3] доопределение $C_{\Phi m}^{m, P_i}$ (2) представляет собой как однозначное определение подмножества всех параметров $K_{C_{m P_i}}$ боевого развертывания и их значений

$F_{C_{mkp_i}}$, так и получение оценок вероятности выполнения рассматриваемого норматива в заданное время. Одним из вариантов последнего может быть расчет средневзвешенных оценок ($\bar{P}_5, \bar{P}_4, \bar{P}_3, \bar{P}_2$) соответствующих долей (частот) всех возможных результатов. Эти оценки соответствуют, как это принято в большинстве подразделений в настоящее время, «отличной», «хорошей», «удовлетворительной» или «неудовлетворительной» оценке.

Множество $\{V_{\phi}^{\phi}(z)\}$ параметров и их значений в данном случае отражают уровень подготовленности персонала аварийной службы к выполнению отдельных составляющих рассматриваемой модели $M_{\phi v}^{\phi}(z)$ процесса (варианта) боевого развертывания. Полученные результаты $\{f_{\phi k}^{\phi}(z)\}$ формируют множество $\{Q_{\phi n}^{\phi}(z)\}$ функционалов эргономической оценки параметров боевого развертывания, которые, учитывая сопоставительный характер норматива, целесообразно представить в виде функций распределения времени выполнения соответствующих вариантов боевого развертывания.

Поскольку израсходованный ресурс W за время выполнения рассматриваемого боевого развертывания специального оснащения для всех реально возможных вариантов практически является постоянным, т.е. $W \cong \text{Const}$, задача разработки норматива фактически сводится к разработке способа построения упорядочивающего множества $H = \{H_m\}$, вводящего порядок в множество $\Xi = \{\Xi_m\}$. В качестве m -го значения эффективности рассматриваемой СЧМ принимается нормативное значение величины времени выполнения боевого развертывания.

2. Статистическая оценка различных вариантов боевого развертывания

Для анализа особенностей использования статистического подхода для обоснования нормативов боевого развертывания рассматривались установка автонасоса на гидрант (отработка этого варианта этого варианта включает выполнение достаточно простых операций, которые отрабатываются практически на каждом дежурстве) и боевое развертывание отделения на автонасосе с подачей двух стволов ГПС-600

(выполнение этого варианта носит сезонный характер, а сам процесс боевого развертывания сложнее первого как по количеству выполняемых операций, так и по характеру взаимодействия между личным составом).

Установка автонасоса на гидрант является одним из основных процессов подготовки к боевому развертыванию отделения на автонасосе и включает (рис.1) присоединение всасывающих рукавов, заполнение насоса водой, открепление пожарно-технического вооружения и снятие выдвижной пожарной лестницы.

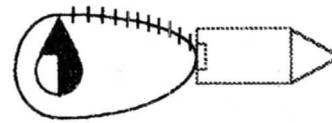


Рисунок 1 – Схема установки автонасоса на пожарный гидрант

Выполнение упражнения проводилось личным составом, имеющим опыт двух, трех и четырех лет службы в подразделении. По результатам обработки экспериментальных данных была построена соответствующая гистограмма распределения времени выполнения, которая приведена на рис.2.

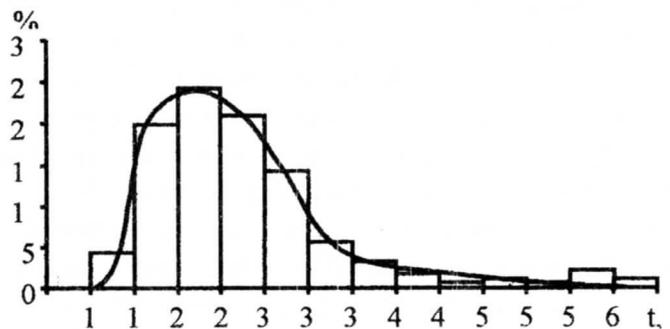


Рисунок 2 – Распределение времени боевого развертывания автонасоса с его установкой на гидрант

По аналогии с подходом, который применяется при обосновании физкультурных нормативов [2], допустим, что отличной оценке соответствует 10 % лучших результатов, а хорошей и удовлетворительной - по 40 % последующих. Тогда в качестве нормативных могут быть предложены, учитывая удобство пользования ими, следующие значения времени выполнения рассматриваемого упражнения: «отлично» – 21 секунда, «хорошо» – 28 и «удовлетворительно»

– 40 секунд.

Боевое развертывание автономного насоса с установкой его на гидрант одно из немногих упражнений, для которого в [1] установлены нормативы («5» – 26 секунд, «4» – 29 секунд и «3» – 32 секунды). Их сравнение с полученными выше показывает, что установленный в [1] норматив для отличных оценок является заниженным, для хороших – должным, а для удовлетворительных – завышенным.

Анализ времени выполнения боевого развертывания показывает, что оно обладает характерными особенностями, рассмотренными в [4], а соответствующая плотность распределения (см. рис.2) имеет вид, характерный для β -распределения с положительной скошенностью. Это объясняется тем, что рассматриваемый вариант боевого развертывания и применяют, и тренируют наиболее часто.

Боевое развертывание отделения на автономном насосе с подачей двух стволов ГПС-600 (рис.3) предполагает одновременную и слаженную работу личного состава отделения. При этом два бойца прокладывают свои рабочие рукавные линии от крайних патрубков разветвления к стволам ГПС-600 и в последующем работают с ними; два других – прокладывают магистральную рукавную линию от напорного патрубка насоса к разветвлению; водитель еще с одним бойцом устанавливает автономный насос на водосточник.

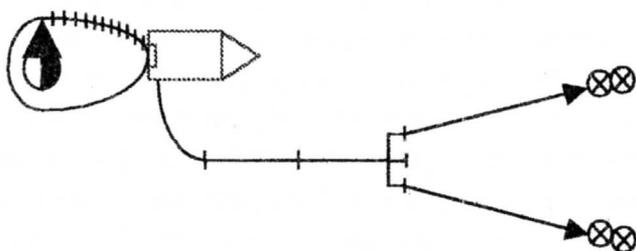


Рисунок 3 - Схема установки автономного насоса на пожарный гидрант с подачей двух ГПС-600

Выполнение упражнения проводилось личным составом, имеющим опыт от двух до четырех лет службы в подразделении. По результатам обработки экспериментальных данных были построены соответствующая гистограмма распределения времени выполнения (рис.4) боевого развертывания.

Ее анализ позволил предложить вначале в качестве нормативных значений следующие оценки: «отлично» – 45 секунд, «хорошо» – 61 и «удовлетворительно» – 80 секунд. Окончательно, исходя из того, что при выполнении норматива на оценку дается две попытки, из которых в зачет идет лучшая, нормативные показатели были уточнены: «отлично» – 45 секунд, «хорошо» – 60 и «удовлетворительно» – 75 секунд.

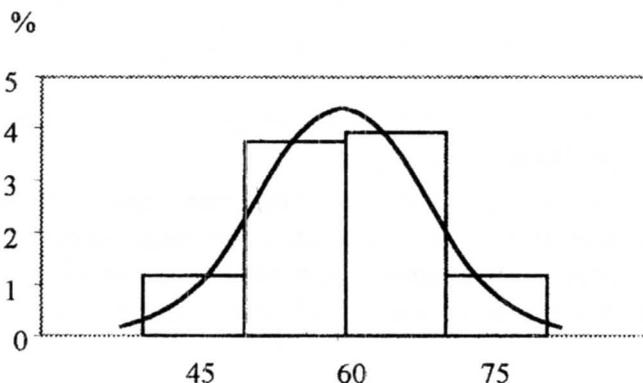


Рисунок 4 – Распределение времени боевого развертывания отделения на автономном насосе с подачей двух стволов ГПС-600

Анализ плотности распределения (см. рис.4) показывает, что даже незначительное усложнение варианта боевого развертывания (например, по сравнению с установкой автономного насоса на пожарный гидрант) приводит к тому, что распределение становится близким к нормальному.

3. Метод обоснования нормативов боевого развертывания

Для сложных вариантов боевого развертывания, которые содержат достаточно большое количество разнообразных операций, подлежащих выполнению, в соответствии с центральной предельной теоремой [5] можно считать, что закон распределения времени боевого развертывания будет нормальным независимо от закона распределения времени выполнения отдельных операций. Это позволяет использовать известное выражение [5] для определения вероятности попадания случайной величины в заданный интервал:

$$\hat{P}_5 = P(t \leq t_5) = \Phi\left(\frac{t_5 - \bar{t}_{\text{сп}}}{G}\right); \quad (1)$$

$$\hat{P}_4 = P(t_5 < t \leq t_4) = \Phi\left(\frac{t_4 - \bar{t}_{бр}}{G}\right) - \Phi\left(\frac{t_5 - \bar{t}_{бр}}{G}\right) = \Phi\left(\frac{t_4 - \bar{t}_{бр}}{G}\right) - \hat{P}_5; \quad (2)$$

$$\hat{P}_3 = P(t_4 < t \leq t_3) = \Phi\left(\frac{t_3 - \bar{t}_{бр}}{G}\right) - \Phi\left(\frac{t_4 - \bar{t}_{бр}}{G}\right) = \Phi\left(\frac{t_3 - \bar{t}_{бр}}{G}\right) - (\hat{P}_4 + \hat{P}_5), \quad (3)$$

где $t_{5(4,3)}$ – значение времени боевого развертывания, при достижении которого норматив может быть оценен на «отлично» («хорошо», «удовлетворительно»); $\Phi\left(\frac{t_{5(4,3)} - \bar{t}_{бр}}{G}\right)$ – со-

ответствующее значение функции стандартного нормального распределения.

Используя значения обратной функции Φ^{-1} стандартного нормального распределения, искомые нормативные оценки времени боевого развертывания могут быть определены как

$$t_5 = \bar{t} + G \cdot \Phi^{-1}(\hat{P}_5); \quad (4)$$

$$t_4 = \bar{t} + G \cdot \Phi^{-1}(\hat{P}_4 + \hat{P}_5); \quad (5)$$

$$t_3 = \bar{t} + G \cdot \Phi^{-1}(\hat{P}_3 + \hat{P}_4 + \hat{P}_5). \quad (6)$$

Когда продолжительность боевого развертывания не является суммой независимых продолжительностей большого количества отдельных операций (это бывает, как показано в [6], при недостаточно большом количестве операций, из которых состоит рассматриваемый процесс), предварительно необходимо определить закон распределения. Учитывая то, что результаты выполнения боевого развертывания удовлетворяют требованиям, приведенным в [4], их можно описать с помощью β -распределения, параметры которого α , β , а также $t_{бр\min}$ и $t_{бр\max}$ могут быть определены по результатам физического или имитационного моделирования.

Тогда по аналогии с (1)÷(3) после кодировки времени боевого развертывания выражения для определения вероятности попадания времени выполнения рассматриваемого варианта боевого развертывания в заданные интервалы могут быть представлены как

$$\hat{P}_3 = P(t_{бр} \leq t \leq t_5) = \beta(x_5, \alpha, \beta); \quad (7)$$

$$\hat{P}_4 = P(t_5 \leq t \leq t_4) = \beta(x_4, \alpha, \beta) - \beta(x_5, \alpha, \beta) = \beta(x_4, \alpha, \beta) - \hat{P}_5; \quad (8)$$

$$\hat{P}_3 = P(t_4 \leq t \leq t_3) = \beta(x_3, \alpha, \beta) - \beta(x_4, \alpha, \beta) = \beta(x_3, \alpha, \beta) - (\hat{P}_4 + \hat{P}_5). \quad (9)$$

Используя значения обратной функции F^{-1} β -распределения, искомые оценки времени боевого развертывания определяются следующим образом

$$t_5 = t_{бр\min} + F^{-1}(\hat{P}_5) \cdot (t_{бр\max} - t_{бр\min}); \quad (10)$$

$$t_4 = t_{бр\min} + F^{-1}(\hat{P}_5 + \hat{P}_4) \cdot (t_{бр\max} - t_{бр\min}); \quad (11)$$

$$t_3 = t_{бр\min} + F^{-1}(\hat{P}_5 + \hat{P}_4 + \hat{P}_3) \cdot (t_{бр\max} - t_{бр\min}). \quad (12)$$

Таким образом, для установления норматива надо знать параметры распределения времени выполнения рассматриваемого варианта боевого развертывания. Однако их можно получить не только в результате статистической обработки натуральных экспериментов, но и с помощью имитационного моделирования. Для новой или модернизируемой техники такой подход становится единственным.

4. Имитационная оценка нормативов боевого развертывания создаваемой и модернизируемой пожарной техники

Имитационная оценка нормативов боевого развертывания создаваемой пожарной техники рассматривалась на примере автоцистерны АЦ-40/130/63Б на шасси ЗИЛ, переход на которые планируется в Украине в ближайшие годы. С этой целью было рассмотрено боевое развертывание автоцистерны с подачей двух стволов ГПС-600 на три рукава диаметром 51 мм (см. рис.5).

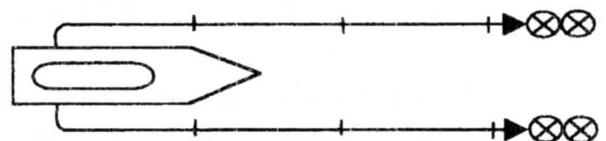


Рисунок 5 – Схема боевого развертывания автоцистерны с подачей двух стволов ГПС-600 на три рукава диаметром 51 мм

В ходе рассматриваемого боевого развертывания личный состав прокладывает рукавную линию, снимает с крыши автоцистерны и переносит на боевую позицию генератор пены средней кратности (ГПС-600), собирает рукавные линии, готовит автомобиль и завершает все подачи огнетушащего вещества к месту пожара. Учитывая то, что рассматриваемый процесс характеризуется строго заданной последовательностью действий личного состава, его можно представить в виде сетевого графика (см. рис.6).

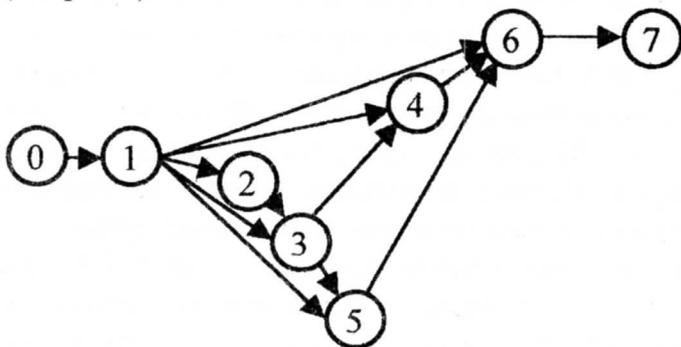


Рисунок 6 – Сетевой график боевого развертывания автоцистерны с подачей двух стволов ГПС-600 на три рукава диаметром 51 мм

Работы, приведенные на графике, имеют следующий смысл:

- 0-1 – постановка задачи начальником караула на проведение боевого развертывания;
- 1-2 – подъем командира отделения на крышу для снятия ГПС-600;
- 1-3 – подход пожарного № 1 с правой стороны автомобиля;
- 1-4 (1-5) – движение пожарного № 2 (№ 3) с двумя рукавами на позицию;
- 1-6 – подготовка автомобиля водителем;
- 2-3 – передача ГПС-600 командиром отделения пожарному № 1;
- 3-4 – спуск командира отделения и движение со специальным техническим вооружением на позицию;
- 3-5 – прием ГПС-600 и следование на позицию пожарного № 1;
- 4-6 (5-6) – сборка рукавных линий командиром отделения и пожарным № 2 (пожарными № 1 и № 3);
- 6-7 – подача огнетушащего вещества.

Поскольку все операции, которые необходимо выполнить личному составу, можно получить, используя существующие образцы пожарной техники, исходные данные для имитации их выполнения были получены путем физического моделирования. Используя метод имитационной эргономической оценки [7], было проведено имитационное моделирование рассматриваемого варианта боевого развертывания на ЭВМ. Полученное распределение времени боевого развертывания описывается нормальным законом со следующими параметрами

$$f(t) = \frac{1}{5.54 \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-114.4)^2}{2 \cdot 5.54^2}} \quad (13)$$

В соответствии с (4)÷(6), учитывая при этом соображения кратности и запоминаемости, были рекомендованы следующие нормативные оценки: «отлично» - 107 секунд, «хорошо» - 114 секунд, «удовлетворительно» - 121 секунд.

После поступления АЦ-40/130/63Б на шасси ЗИЛ в Винницкий гарнизон пожарной охраны было проверено, насколько рекомендуемые оценки могут использоваться в практической работе. Для этого были оценены результаты боевого развертывания различными караулами, которые используют рассматриваемый образец техники. Среднее значение времени выполнения данного варианта боевого развертывания оказалось равным 117,8 с. Это говорит о том, что предлагаемые нормативы, с одной стороны, являются посильными (доступными), а с другой – служат ориентиром в процессе боевой подготовки личного состава.

Пооперационный анализ рассматриваемого варианта боевого развертывания показал, что наиболее сложными являются работы 1-2 и 3-4, которые не только лежат на критическом пути, но и сильно зависят от временных и погодных условий, наличия координационных качеств у командира отделения, требуют выполнения особых требований по технике безопасности. В связи с этим было предложено приспособление для крепления ГПС-600. Использование приспособления позволяет снимать генераторы, не поднимаясь на крышу пожарного автомобиля.

Несколько меняется в этом случае и последовательность выполнения операций рассматриваемого варианта боевого развертывания, сетевой график которого в этом случае имеет вид, представленный на рис. 7.

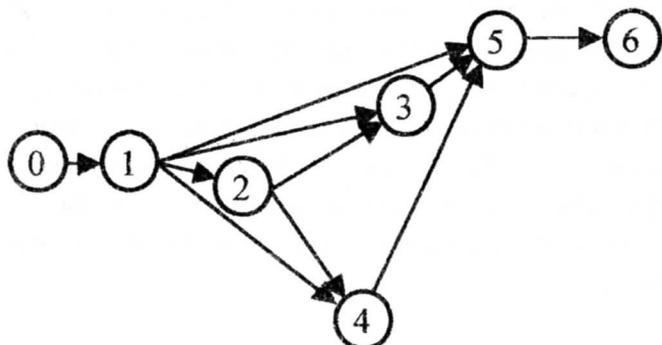


Рисунок 7 – Сетевой график модернизированного варианта боевого развертывания автоцистерны с подачей двух стволов ГПС-600 на три рукава диаметром 51 мм

Естественно, что отдельные операции в этом случае также будут отличаться от рассмотренных ранее.

Работы, приведенные на графике, имеют следующий смысл:

0-1 – постановка задачи начальником караула на проведение боевого развертывания;

1-2 – съем ГПС-600 командиром отделения и пожарным № 1;

1-3 (1-4) – движение пожарного № 2 (3) с двумя рукавами на позицию;

1-5 – подготовка водителем пожарного автомобиля;

2-3 (2-4) – движение командира отделения (пожарного № 1) с ГПС-600 к месту боевой работы;

3-5 (4-5) – сбор линии командиром отделения (пожарным № 1) и пожарным № 2 (№ 3), выход на позиции;

5-6 – подача водителем огнетушащего вещества.

К числу тех операций, которые не рассматривались первоначально, относятся работы 1-2 и 2-3 (3-4). Гистограммы распределения времени их выполнения были получены дополнительно.

Используя имитационную модель деятельности личного состава при подаче от АЦ-

40/130/63Б на шасси ЗИЛ двух стволов ГПС-600 на три рукава, было получено распределение времени выполнения модернизированного варианта боевого развертывания, которое описывается нормальным законом со следующими параметрами

$$f(t) = \frac{1}{4,26 \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-92,48)^2}{2 \cdot 4,26^2}} \quad (14)$$

С учетом мнения экспертов о том, что этот вариант боевого развертывания не относится к числу наиболее часто используемых при ликвидации аварийной ситуации, в соответствии с (4)÷(6), были предложены следующие нормативные оценки: «отлично» - 88 секунд, «хорошо» - 93 секунд, «удовлетворительно» - 98 секунд. Первые испытания модернизированной автоцистерны показали, что среднее время боевого развертывания сократилось со 117,8 с до 94,3 с, и подтвердили возможность использования предложенных нормативов на начальном этапе эксплуатации модернизированной техники.

Выводы.

Предложен метод обоснования нормативов боевого развертывания пожарно-технического вооружения. Показано, что для оценки вариантов боевого развертывания целесообразно использовать известное в теории вероятностей выражение для определения вероятности попадания случайной величины, распределенной нормально, в заданный интервал. Когда рассматриваемая продолжительность не является суммой независимых продолжительностей большого количества отдельных операций, результаты выполнения боевого развертывания можно описать с помощью β -распределения, параметры которого могут быть определены по результатам физического или имитационного моделирования, что позволяет для получения искомых оценок времени боевого развертывания использовать значения обратной функции F^{-1} β -распределения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нормативи по пожежно-стройовій підготовці. –К.: УДПО МВС України, 1995. –14 с.

2. Спортивная метрология: Учеб. /Под ред. В.М. Зациорского. –М.: ФиС, 1982. –256 с.
3. Стрелец В.М., Людвичек К.В. Имитационный анализ систем «человек-машина» с помощью функционально-целевых причинно-следственных моделей эргономической оценки // Вестник ХГАДТУ: Сб. науч. тр. -Х.: ХГАДТУ, 2001. -Вып.15-16. -С.105-107.
4. Стрелец В.М., Чучковский В.Н. Особенности прогнозирования результатов деятельности боевых расчетов пожарных автомобилей // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. -Харьков: ХИПБ, 1997. -Вып.2. –С.156-159.
5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. –М.: Наука, 1962. –564 с.
6. Стрелец В.М., Каскевич Д.Ю. Статистическая оценка нормативных показателей боевого развертывания пожарных автомобилей // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. -Харьков: ХИПБ, 2000. -Вып.8. –С.168-171.
7. Абрамов Ю.А., Чучковский В.Н., Стрелец В.М., Ковалев П.А. Методика эргономической оценки деятельности боевых расчетов пожарных автомобилей // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. -Харьков: ХИПБ, 1998. -Вып.4. –С.3-5

Поступила в редколлегию 18.04.2002

СТРЕЛЕЦЬ В.М., ГРИЦАЙ В.Б. СТАТИСТИЧНИЙ МЕТОД ОБҐРУНТУВАННЯ НОРМАТИВІВ БОЙОВОГО РОЗГОРТАННЯ ПОЖЕЖНО-ТЕХНІЧНОГО ОЗБРОЄННЯ

Розглянуті особливості розробки нормативів бойового розгортання пожежної техніки. Запропоновано метод обґрунтування нормативів бойового розгортання пожежно-технічного озброєння. Показано, що для їх можуть використовуватись результати як фізичного, так й імітаційного моделювання бойової роботи пожежних.

STRELETS V.M., GRITSAJ V.B. A STATISTICAL TECHNIQUE TO SUBSTANTIATE STANDARDS FOR THE COMBAT DEPLOYMENT OF FIRE EQUIPMENT

The article analyzes the specifics of developing standards for combat deployment of fire equipment and suggests a technique to substantiate these standards. It also shows that the results of both physical and simulation modeling of firefighters' combat activities may be used for this purpose.