

С. В. Фроленков¹, В. В. Теребнев², Д. В. Тараканов³

(¹МЧС России, ²Академия Государственной противопожарной службы МЧС России,

³Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России; e-mail: den-pgsm@mail.ru)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЁТА НОРМАТИВОВ УПРАЖНЕНИЙ С ПОЖАРНО-ТЕХНИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ

РЕЗЮМЕ

Введение. В статье проведено совершенствование дифференциальной модели обучения для принятия решений при установлении нормативов выполнения упражнений с пожарно-техническим оборудованием. С использованием дифференциальной модели обучения проведено исследование задачи формирования нормативов выполнения упражнений с новыми образцами техники и пожарно-технического оборудования.

Цель и задачи. Цель исследования состоит в совершенствовании методики расчёта нормативов выполнения упражнений и прогнозирования количества подходов для обеспечения успешного освоения упражнения в рамках управления профессиональной подготовкой пожарных.

Методы. В статье процесс получения новых научных результатов можно разделить на три этапа. На первом этапе при совершенствовании модели обучения использовались методы решения дифференциальных уравнений с разделяющимися переменными. На втором этапе исследования при разработке нормативов упражнений с пожарно-техническим оборудованием применены критерий Стьюдента и элементы теории вероятностей. На третьем этапе в процессе оценки адекватности результатов использовался критерий детерминации Пирсона.

Результаты и обсуждение. Авторами получено частное аналитическое решение общей дифференциальной модели обучения для случая линейной зависимости функции обучения от результатов выполнения упражнения. Предложена методика расчёта нормативов для упражнений с пожарно-техническим оборудованием на основе усечённых данных и выполнено сравнение результатов расчёта нормативов с общепринятым методом установления нормативов для упражнений с пожарно-техническим оборудованием. Разработан способ определения значений функции обучения по результатам многократного выполнения упражнений с учётом обучающего фактора.

Выводы. Предложенная модификация модели обучения заключается в установлении линейной зависимости результатов выполнения упражнений от количества подходов, что позволяет осуществлять планирование действий по успешному выполнению упражнений с пожарно-техническим оборудованием. Определены направления дальнейшего исследования в части развития полученных результатов при управлении профессиональной подготовкой личного состава в подразделениях пожарной охраны.

Ключевые слова: управление подготовкой пожарных, пожарно-техническое оборудование, нормативы выполнения упражнений, дифференциальная модель обучения, принятие решений.

Для цитирования: Фроленков С. В., Теребнев В. В., Тараканов Д. В. Совершенствование методики расчёта нормативов упражнений с пожарно-техническим оборудованием // Технологии техносферной безопасности. – 2021. – Вып. 1 (91). – С. 53-66. <https://doi.org/10.25257/TTS.2021.1.91.53-66>

Введение

Практика борьбы с пожарами определила основные направления совершенствования тактических возможностей пожарных подразделений. К одному из наиболее важных направлений относится внедрение новых образцов пожарной техники и пожарного оборудования в процесс выполнения боевых действий на пожарах [1]. Однако для успешного применения нового оборудования и техники необходимо разрабатывать упражнения по их использованию в наиболее часто встречающихся практических ситуациях и отработке данных упражнений при реализации профессиональной подготовки личного состава путём формирования нормативов выполнения упражнений и построении системы подготовки с учётом этих нормативов, что в комплексе необходимо для управления профессиональной подготовкой личного состава подразделений пожарной охраны. Поэтому инженерная задача формирования нормативов выполнения упражнений с новыми образцами техники и вооружения является актуальной и требует эффективного решения на основе применения научных методов и моделей [2].

Классический способ расчёта границ норматива предусматривает анализ времени выполнения упражнения, представление данного времени как непрерывной случайной величины ρ , подчиняющейся нормальному закону распределения, с характеристиками: 1 – среднее значение ρ_{cp} ; 2 – стандартное отклонение $\sigma(\rho)$. Тогда норматив выполнения упражнения для оценки "отлично" будет иметь границу $\rho_5 = \rho_{cp} - t \cdot \sigma(\rho)$, граница для оценки "хорошо" $\rho_4 = \rho_{cp}$; и оценки "удовлетворительно" $\rho_5 = \rho_{cp} + t \cdot \sigma(\rho)$, где t – критерий Стьюдента; n – число испытаний (наблюдений). При этом для получения устойчивого результата необходимо провести более $n = 40$ испытаний, тогда критерий Стьюдента равен $t = 2$ [3, 4]. На практике же предлагается рассчитывать характеристики случайной величины ρ по усечённым данным с размером выборки $n = 6 \dots 8$. Проверка результатов на нормальность не даёт устойчивого принятия статистической гипотезы, поэтому можно предположить, что в выборке присутствует фактор обучения, обеспечивающий снижение времени выполнения упражнения (далее такая выборка будет считаться выборкой с обучением) [5]. Однако данное предположение справедливо в том случае, если наблюдается зависимость результатов выполнения упражнения от номера испытания. Таким образом целесообразно рассматривать статистическую величину с фактором обучения ξ с характеристиками: 1 – среднее значение ξ_{cp} ; 2 – стандартное отклонение $\sigma(\xi)$. При анализе данной случайной величины необходимо применять модели обучения и предусматривать более скромные оценки к границам выполнения упражнения, снижая доверительный интервал, например, для оценки "отлично" норматив будет иметь границу $\xi_5 = \xi_{cp}$, граница для оценки "хорошо" $\xi_4 = \xi_{cp} + 0,5t \cdot \sigma(\xi)$; и оценки "удовлетворительно" $\xi_5 = \xi_{cp} + t \cdot \sigma(\xi)$. В этом случае необходимо иметь инструментарий, который позволит по $6 \dots 8$ значениям случайной величины ξ построить 40 расчётных значений, полученных на основе модели обучения.

Таким образом, научная задача состоит в модификации модели обучения для расчёта нормативов выполнения упражнений и прогнозировании количества подходов для обеспечения успешного освоения упражнения в рамках управления профессиональной подготовкой пожарных.

Совершенствование модели обучения

Рассмотрим классическую дифференциальную модель обучения – модель запоминания [6-9], основанную на предположении о том, что скорость обучения (dy/dx) пропорциональна с коэффициентом (b) разности между изученным материалом (y) и пределом способности к запоминанию (y_∞). Тогда процесс запоминания характеризуется следующим дифференциальным уравнением $\frac{dy}{dx} = b(y_\infty - y)$, решение которого с учётом начальных условий $y = y_0$ при $x = 0$ записывается в виде зависимости $y = y_0 - (y_\infty - y_0)\exp(-bx)$.

Аналогично модели запоминания запишем дифференциальное уравнение, определяющее изменение степени навыка при выполнении упражнений с **пожарно-техническим оборудованием (ПТО)** в зависимости от объёма выборки – попыток выполнения упражнения:

$$N \frac{d\xi}{dn} = \xi_0 - \xi a + \xi a \varphi, \quad (1)$$

где N – объём выборки;

n – номер элемента выборки;

ξ_0 – значение начального элемента выборки – первоначальное время выполнения упражнения;

a – параметр обучения выборки статистической величины ξ – время выполнения упражнения;

φ – доля не накапливаемого навыка.

В выражении (1) $\varphi = \Phi - 1$, где Φ – функция обучения. В силу инвариантности функции обучения Φ , относительно положенного линейного преобразования, далее в конкретном случае групповых упражнений с ПТО будем считать φ – аналогом функции обучения.

Решение уравнения (1) проведем классическим способом, используя уход от размерности величины ξ и замену переменной, так, обозначим безразмерную величину $\beta = \xi / \xi_0$, тогда выражение (1) запишем:

$$N \frac{d\beta}{dn} = 1 - \beta a (1 - \varphi);$$

$$\frac{d\beta}{dn} = -\frac{a(1-\varphi)}{N} \left[\beta - \frac{1}{a(1-\varphi)} \right].$$

Разделим переменные следующим образом:

$$\frac{d\beta}{\beta - \frac{1}{a(1-\varphi)}} = -\frac{a(1-\varphi)dn}{N}.$$

Решение данного уравнения представим в виде:

$$\beta = \frac{1}{a(1-\varphi)} + \left(\beta_0 - \frac{1}{a(1-\varphi)} \right) \exp\left(-\frac{a(1-\varphi)n}{N} \right). \quad (2)$$

Покажем, что аналитическое решение (2) аналогично классической модели запоминания $y = y_0 - (y_\infty - y_0) \exp(-bx)$. Для этого обозначим $\beta_\infty = \frac{1}{a(1-\varphi)}$

и $q = \frac{a(1-\varphi)}{N}$, тогда выражение (2) будет записано следующим образом: $\beta = \beta_\infty + (\beta_0 - \beta_\infty) \exp(-qn)$ или $\beta = \beta_\infty - (\beta_\infty - \beta_0) \exp(-qn)$. Отличие моделей заключается лишь в том, что в модели запоминания функция (y) при $(x \rightarrow \infty)$ стремится от $(y_\infty \rightarrow y_0)$, в случае функции β при $(n \rightarrow \infty)$, наоборот, $(\beta_\infty \rightarrow \beta_0)$.

Итак, для практического использования аналитического выражения (2) необходимо иметь инструмент для определения значений функции обучения φ по усечённым данным – выборке с обучением.

Так, при небольших n можно допустить (*), что $\frac{1}{a(1-\varphi)} = 0$, тогда выражение (2) запишем так

$$\beta = \beta_0 \exp\left(-\frac{a(1-\varphi)n}{N} \right).$$

Отсюда следует, что функция φ будет определяться по формуле:

$$\varphi_i = 1 - \frac{N}{an_i} \ln\left(\frac{\beta_0}{\beta_i} \right), \quad i \neq 0. \quad (3)$$

Допущение (*) должно быть оценено, поэтому необходимо сопоставлять расчётные данные ξ_p с фактическими ξ_ϕ . Для этого может быть использован критерий Пирсона.

Практика обработки данных, полученных в ходе выполнения упражнений с пожарно-техническим оборудованием, показала, что для определения значений параметра обучения выборки (a) и доли не накапливаемого навыка (φ) могут быть использованы линейные зависимости:

$$a = f(N_{yc}, N_{nto}) = 5N_{yc} + N_{nto} \quad \text{и} \quad \varphi(\beta) = R + B\beta,$$

где N_{yc} – количество участников выполнения упражнения;

N_{nto} – количество единиц используемого пожарно-технического оборудования;

R и B – эмпирические константы линейной функции.

Поэтому для случая применения модели обучения при обработке результатов наблюдений за выполнением упражнений с пожарно-техническим оборудованием целесообразно рассмотреть частный случай линейной зависимости функции φ от β .

Тогда выражение $N \frac{d\beta}{dn} = 1 - \beta a + \beta a \varphi$ дополним линейной зависимостью $\varphi_i = R + B\beta_i$.

Сформируем дифференциальное уравнение второго порядка:

$$N \frac{d\beta}{dn} = 1 - \beta a + \beta a R + a B \beta^2. \quad (4)$$

Разделим переменные:

$$\frac{d\beta}{\frac{1}{aB} + \frac{(R-1)}{B}\beta + \beta^2} = \frac{aB}{N} dn.$$

Решение уравнения (4) имеет вид:

$$\beta = \frac{C_2}{2(S_2 - 1)} + \frac{C_1}{2(S_1 - 1)}, \quad (5)$$

где функции $S_1 = \frac{[1 + 0,5C_1]}{[1 + 0,5C_2]} \exp\left(aBD \frac{n}{N}\right)$, $S_2 = \frac{[1 + 0,5C_2]}{[1 + 0,5C_1]} \exp\left(-aBD \frac{n}{N}\right)$

и константы $C = \frac{R-1}{B}$, $C_1 = C - D$, $C_2 = C + D$, $D = \sqrt{C^2 - \frac{4}{aB}}$.

Таким образом, разработана модель обучения для формирования расчётных значений случайной величины ξ_p выборки объёма N с номерами n . На основе анализа значений моделируемой случайной величины представляется возможным формировать норматив выполнения упражнения.

Методика разработки норматива выполнения упражнения по усечённым данным из выборки с обучением.

На первом этапе получают набор фактических значений случайной величины ξ_f для $n = 6 \dots 8$ подходов к выполнению упражнения. С соблюдением требований, оговоренных в [3]. Осуществляют предварительный анализ фактических значений случайной величины с расчётом значений функции обучения φ , путём определения констант модели R и B .

На втором этапе получают расчётные значения случайной величины ξ_p и сравнивают на усечённой выборке $n = 6 \dots 8$ по критерию Пирсона. При удовлетворительных значениях $R^2 > 0,9$ можно считать, что расчётные и фактические данные достаточно близки для инженерных расчётов, в противном случае модель не применима.

На третьем этапе определяют характеристики расчётной случайной величины ξ_{cp} и $\sigma(\xi)$ для формирования нормативов, а также прогнозируют значения n , при которых нормативные оценки будут достижимы.

Модельный пример

Рассмотрим результаты выполнения группового упражнения с пожарно-техническим оборудованием. Пусть два участника выполняют упражнение по заданной схеме, не меняя между собой распределение и последовательность действий. При выполнении упражнения участники используют пять элементов пожарно-технического вооружения.

Первый этап методики

Определим значение параметра обучения выборки (a) по формуле:

$$a = 5 \cdot N_{уч} + N_{нто} = 5 \cdot 2 + 5 = 15.$$

В табл. 1 представлены результаты выполнения упражнения двумя участниками – столбец ξ_ϕ и промежуточные результаты вычислений β и ϕ (по формуле 3 при $N = 40$), а также данные для определения констант линейной модели (ϕ) R и B по классическим формулам линейной регрессии.

Таблица 1

Результаты выполнения упражнения и промежуточные расчёты

n	ξ_ϕ	β	ϕ	$\beta \cdot \phi$	β^2
0	78	1	-	-	-
1	73	0,94	0,82	0,77	0,88
2	70	0,90	0,86	0,77	0,81
3	68	0,87	0,88	0,77	0,76
4	65	0,83	0,88	0,73	0,69
5	64	0,82	0,89	0,73	0,67
6	63	0,81	0,91	0,73	0,65
Σ		5,17	5,24	4,50	4,46

Анализируя данные, рассчитаем коэффициенты линейной регрессии:

$$B = \frac{n \sum \beta_i \cdot \phi_i - \sum \beta_i \sum \phi_i}{n \sum \beta_i^2 - \left(\sum \beta_i \right)^2} = \frac{6 \cdot 4,5 - 5,17 \cdot 5,24}{6 \cdot 4,46 - 5,17^2} = -0,57;$$

$$R = \frac{1}{n} \sum \phi_i - \frac{B}{n} \cdot \sum \beta_i = \frac{1}{6} 5,24 + \frac{0,57}{6} \cdot 5,17 = 1,36.$$

Вывод: функция ϕ имеет константы $B = -0,57$ и $R = 1,36$, $\xi_0 = 78$ (с), $a = 15$ и $N = 40$.

Второй этап методики

Определяем константы модели по формулам:

$$C = \frac{R-1}{B} = \frac{1,36-1}{-0,57} = -0,64;$$

$$D = \sqrt{C^2 - \frac{4}{aB}} = \sqrt{(-0,64)^2 - \frac{4}{15 \cdot (-0,57)}} = 0,93;$$

$$C_1 = C - D = -0,64 - 0,93 = -1,57;$$

$$C_2 = C + D = -0,64 + 0,93 = 0,3.$$

Определяем функции модели по формулам:

$$S_1 = \frac{[1 + 0,5C_1]}{[1 + 0,5C_2]} \exp\left(aBD \frac{n}{N}\right) = 0,187 \exp(-0,199n);$$

$$S_2 = \frac{[1 + 0,5C_2]}{[1 + 0,5C_1]} \exp\left(-aBD \frac{n}{N}\right) = 5,347 \exp(0,199n).$$

На основе модифицированной модели обучения, рассчитаем значения случайной величины ξ_p используя полученные данные (C , D , C_1 , C_2 , S_1 , S_2). Результаты расчёта случайной величины ξ_p представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты моделирования случайной величины ξ_p

n	S_1	S_2	β	ξ_p	Φ
0	0,186	5,375	1,000	78	0,79
1	0,152	6,567	0,954	74	0,82
2	0,125	8,023	0,919	72	0,84
3	0,102	9,801	0,893	70	0,85
4	0,084	11,974	0,872	68	0,87
5	0,068	14,629	0,855	67	0,88
6	0,056	17,872	0,842	66	0,88
7	0,046	21,834	0,831	65	0,89
8	0,037	26,674	0,823	64	0,89
9	0,031	32,587	0,816	64	0,90
10	0,025	39,811	0,810	63	0,90
11	0,021	48,637	0,806	63	0,90
12	0,017	59,419	0,802	63	0,91
13	0,014	72,591	0,799	62	0,91
14	0,011	88,683	0,797	62	0,91
15	0,009	108,343	0,795	62	0,91
16	0,008	132,361	0,793	62	0,91
17	0,006	161,703	0,792	62	0,91
18	0,005	197,551	0,791	62	0,91
19	0,004	241,345	0,790	62	0,91
20	0,003	294,847	0,790	62	0,91
21	0,003	360,211	0,789	62	0,91
22	0,002	440,064	0,788	62	0,91
23	0,002	537,620	0,788	61	0,91
24	0,002	656,803	0,788	61	0,91
25	0,001	802,407	0,788	61	0,91
26	0,001	980,288	0,787	61	0,91
27	0,001	1197,604	0,787	61	0,91
28	0,001	1463,096	0,787	61	0,91
29	0,001	1787,443	0,787	61	0,91
30	0,000	2183,693	0,787	61	0,91
31	0,000	2667,786	0,787	61	0,92
32	0,000	3259,196	0,787	61	0,92
33	0,000	3981,712	0,787	61	0,92
34	0,000	4864,400	0,787	61	0,92
35	0,000	5942,768	0,787	61	0,92
36	0,000	7260,193	0,786	61	0,92
37	0,000	8869,673	0,786	61	0,92
38	0,000	10835,951	0,786	61	0,92
39	0,000	13238,124	0,786	61	0,92
40	0,000	16172,825	0,786	61	0,92

Для наглядности полученных результатов построим графики зависимости.

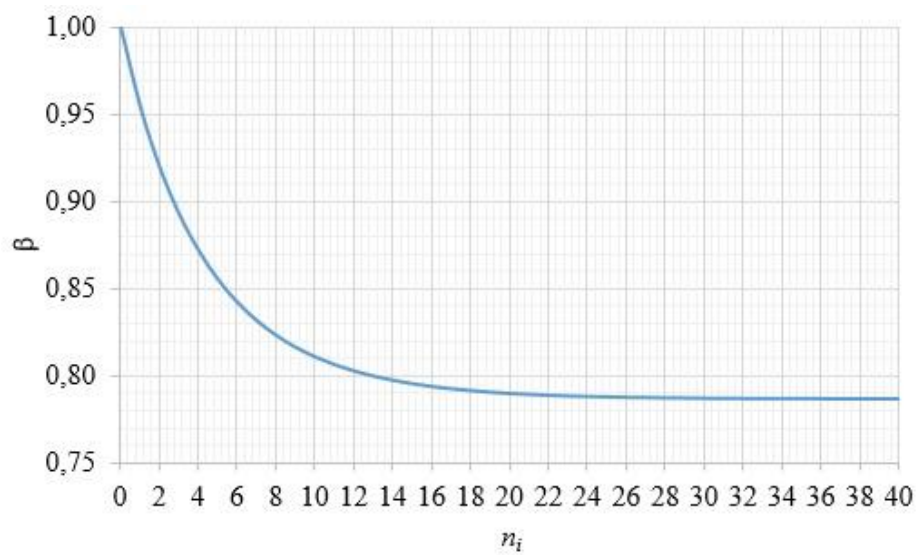


Рис. 1. Зависимость безразмерной величины β от номера наблюдений n_i

Анализ данных на рис. 1 показывает, что динамика безразмерной величины β представляет собой экспоненциальную модель с насыщением, что соответствует классическим взглядам на моделирование процесса обучения.

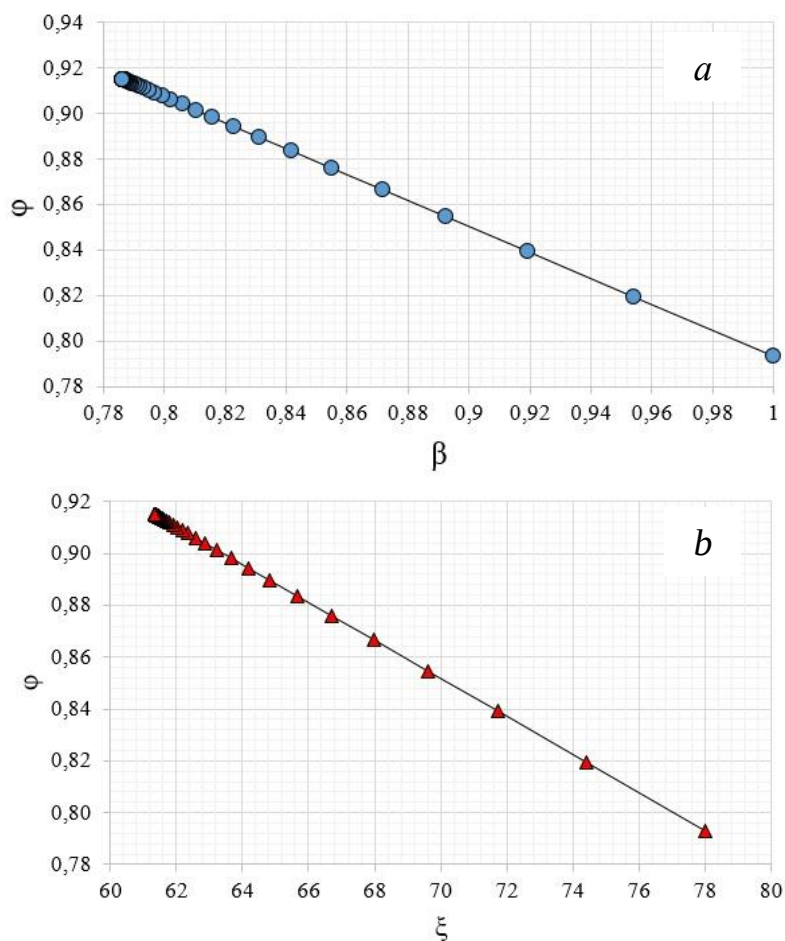


Рис. 2. Зависимость величины ϕ от безразмерной величины β (a) и моделируемых результатов выполнения упражнения ξ (b)

В соответствии с данными, представленными на рис. 2 (а) и (b), можно наблюдать наличие линейной зависимости величины обучения φ от модельных значений результатов выполнения упражнения и безразмерной функции β .

Оценка адекватности по критерию Пирсона (R^2)

Проверка адекватности проводится по усечённой выборке для $n = 0, \dots, 6$, сопоставляя фактические и расчётные значения ($\xi_{\text{ф}}$; $\xi_{\text{р}}$) с использованием приложения *MS Excel* функция $f_x = \text{КВПИРСОН}(\xi_{\text{ф}}; \xi_{\text{р}}) = 0,99$.

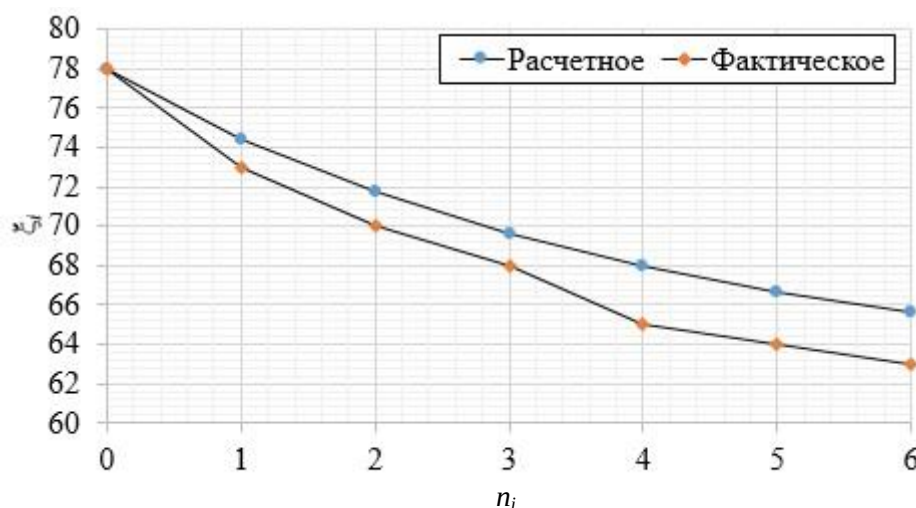


Рис. 3. Сопоставление фактических и расчётных усеченных данных

Так как $R^2 > 0,9$, модельные данные соответствуют фактическим и, следовательно, значения величины $\xi_{\text{р}}$ для $n = 40$ могут быть использованы для формирования норматива выполнения упражнения.

На третьем этапе приступаем к формированию норматива выполнения упражнения.

Определим среднее значение величины $\xi_{\text{р}}$: среднее значение $\xi_{\text{ср}} = 63$ (с) и стандартное отклонение $\sigma(\xi) = 4$ (с). Тогда оценка "удовлетворительно" будет выставлена для результата выполнения упражнения, не превышающего $\xi_3 = \xi_{\text{ср}} + 2 \cdot \sigma(\xi) = 63 + 2 \cdot 4 = 71$ (с), что является границей норматива. Граница для оценки "хорошо" составит величину $\xi_4 = \xi_{\text{ср}} + \sigma(\xi) = 63 + 4 = 67$ (с). В свою очередь, граница для оценки "отлично" $\xi_5 = \xi_{\text{ср}} = 63$ (с).

Сопоставление оценочных границ и расчётных данных по упражнению представлены на рис. 4.

Анализируя данные можно предположить, что для выполнения упражнения на оценку "удовлетворительно", пожарные должны выполнить на тренировке упражнения хотя бы три подхода ($n = 0, 1, 2$) для достижения оценки "хорошо" необходимо более шести подходов ($n = 0, 1, 2, 3, 4, 5$), в свою очередь, для оценки "отлично" нужно выполнить более одиннадцати подходов ($n = 0, 1, \dots, 10$). Полученные данные необходимы для построения системы подготовки по выполнению упражнения с новым видом пожарного оборудования.

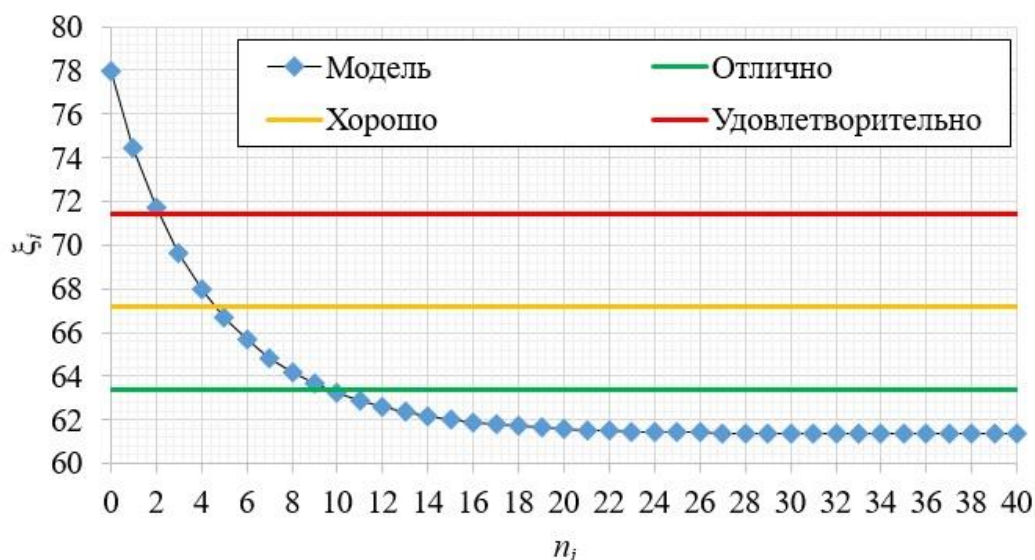


Рис. 4. Оценочные границы выполнения упражнения и прогнозируемые данные динамики величины

Обсуждение результатов

Предположим, что норматив выполнения модельного упражнения определяется по классической модели, тогда $\xi_{\phi} = \rho$ с характеристиками: среднее значение $\rho_{\text{ср}} = \xi_{\text{фср}} = 68,7$ (с) и стандартным отклонением $\sigma(\rho) = \sigma(\xi) = 5$ (с). Тогда оценка "отлично" анализируемого норматива будет иметь границу $\rho_5 = \rho_{\text{ср}} - t \cdot \sigma(\rho) = 68,7 - 2,8 \cdot 5 = 54,7 = 55$ (с), граница для оценки "хорошо" $\rho_4 = \rho_{\text{ср}} = 68,7 = 69$ (с); и граница оценки "удовлетворительно" $\rho_3 = \rho_{\text{ср}} + t \cdot \sigma(\rho) = 68,7 + 2,8 \cdot 5 = 82,7 = 83$ (с), где $t = 2,8$ (критерий Стьюдента при $n = 7$). Тогда оценка удовлетворительно достигается при первом же подходе $\xi_0 = \rho_0 = 78$ (с), то есть не требует тренировки вовсе, а оценка "отлично" 55 (с) судя по модельным данным, где минимальное расчётное значение 61 (с), теоретически не достижима. Это подтверждает, что предложенный подход, включающий разработанную модель обучения, в большей степени адекватен модельному примеру и может претендовать на практическое использование.

Таким образом, в исследовании проведена адаптация модели обучения для формирования нормативов выполнения упражнений, нормативы которых определяются по усеченным выборкам. Рассмотрен частный случай линейной зависимости функции обучения от результатов выполнения упражнения при увеличении количества подходов. Получены аналитические решения модели обучения как в общем, так и в частном случае. Предложена методика расчёта нормативных значений выполнения упражнений для их использования при планировании профессиональной подготовки пожарных.

Литература

1. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В. Какова "стоимость" пожаров в современном мире? Пожаровзрывобезопасность. 2020. Т. 29. № 1. С. 79-88. <https://doi.org/10.18322/PVB.2020.29.01.79-88>
2. Фроленков С. В., Тербнев В. В. Современное состояние вопроса управления оперативно-тактическими действиями пожарных подразделений и возможные пути его совершенствования // Современные проблемы гражданской защиты. 2019. № 4 (33). С. 108-112.
3. Тербнев В. В. Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений. М.: Пожкнига, 2004. 256 с.
4. Шпилов Р. М., Казанцев С. Г., Давиденко А. С., Шалявин Д. Н. Разработка дополнительных нормативных заданий и их временных показателей к работе со штурмовой лестницей // Современные проблемы гражданской защиты. 2019. № 2 (31). С. 106-112.
5. Шалявин Д. Н., Кулагин А. В., Сорокин А. А. Модель ранжирования многофункциональных тренировочных объектов для специальной подготовки пожарных // Технологии техносферной безопасности. 2019. Вып. 4 (86). С. 71-78. <https://doi.org/10.25257/TTS.2019.4.86.71-78>
6. Степанов И. И., Ефремов О. М., Суворов Н. Б., Даниловский М. М., Майданов Н. П., Шклярчук С. П. Информативность математической модели процесса обучения // Информационно-управляющие системы. 2011. № 1 (50). С. 34-40.
7. Schükarev A. Über die energetischen Grundlagen des Gesetzes von Weber-Fechner und der Dynamik des Gedächtnisses // Annalen der Naturphilosophie. 1907. Vol. 6. No. 4. Pp. 139-149.
8. Meyer M. F., Eppright F. O. The equation of the learning function // American J. Psychology. 1923. Vol. 34. No. 2. Pp. 203-222.
9. Hull C. L. Principles of Behavior. New York: Appleton Century Crofts, 1943. 325 p.

Материал поступил в редакцию 28 января 2021 г.; принят к публикации 12 марта 2021 г.

S. V. Frolenkov¹, V. V. Terebnev², D. V. Tarakanov³

(¹EMERCOM of Russia, ²Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia,

³Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of EMERCOM of Russia;

e-mail: den-pgsm@mail.ru)

IMPROVEMENT OF THE METHODOLOGY FOR CALCULATING THE TRAINING STANDARDS WITH FIRE-FIGHTING EQUIPMENT

ABSTRACT

Introduction. The article deals with improvement of the differential model of training for decision-making when setting standards of training with fire-fighting equipment. Using a differential training model, the study of the setting training standards with new models of technology and fire-technical equipment was carried out.

Goals and objectives. The aim of the study is to improve the training model for calculating the training standards and predicting the number of approaches to ensure the successful development of the training in the framework of the management of professional training of firefighters.

Methods. The process of obtaining new scientific results can be divided into three stages. At the first stage, when improving the training model, methods for solving differential equations with separable variables were used. At the second stage of the study, the Student's criterion and elements of probability theory were used in the development of training standards with fire-fighting equipment. At the third stage, the Pearson determination criterion was used in the process of assessing the adequacy of the results.

Results and discussion. The authors obtained a partial analytical solution of the general differential training model for the case of linear dependence of the training function on the results of the exercise. A method for calculating standards for exercises with fire-fighting equipment based on truncated data is proposed and the results of calculating standards are compared with the generally accepted method for setting standards for exercises with fire-fighting equipment. A method has been developed for determining the values of the function of training based on the results of repeated exercises, taking into account the training factor.

Conclusions. Thus, the proposed modification of the training model consists in establishing a linear dependence of the results of the exercises on the number of approaches, which allows planning actions for the successful implementation of exercises with fire-fighting equipment. The directions of further research in terms of the development of the results obtained in the management of professional training of personnel in fire departments have been determined.

Key words: firefighter training management, fire-fighting equipment, training standards, differential training model, decision-making.

For citation: Frolenkov S. V., Terebnev V. V., Tarakanov D. V. Improvement of the methodology for calculating the training standards with fire-fighting equipment. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti / Technology of technosphere safety*, 2021, vol. 1 (91), pp. 53-66 (in Russian). <https://doi.org/10.25257/TTS.2021.1.91.53-66>

References

1. Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V. How much is the fire "cost" in the modern world? *Pozharovzryvobezопасnost / Fire and Explosion Safety*, 2020, vol. 29, no. 1, pp. 79-88 (in Russian). <https://doi.org/10.18322/PVB.2020.29.01.79-88>
2. Frolenkov S. V., Terebnev V. V. Current state of the question of management of the operational and tactical actions of fire divisions and possible ways of its improvement. *Sovremennye problemy grazhdanskoy zashchity / Modern problems of civil protection*, 2019, no. 4 (33), pp. 108-112 (in Russian).
3. Terebnev V. V. *Spravochnik rukovoditelya tusheniya pozhara. Takticheskie vozmozhnosti pozharnykh podrazdelenij* [Reference book of the head of fire extinguishing. Tactical capabilities of fire departments]. Moscow, Pozhkniga Publ., 2004, 256 p.
4. Shipilov R. M., Kazantsev S. G., Davidenko A. S., Shalyavin D. N. Development of additional regulatory tasks and their temporal indicators to work with a storm ladder. *Sovremennye problemy grazhdanskoy zashchity / Modern problems of civil protection*, 2019, no. 2 (31), pp. 106-112 (in Russian).
5. Shalyavin D. N., Kulagin A. V., Sorokin A. A. The ranking model of multifunctional training facilities for special training of firefighters. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti / Technology of technosphere safety*, 2019, vol. 4 (86), pp. 71-78 (in Russian). <https://doi.org/10.25257/TTS.2019.4.86.71-78>
6. Stepanov I. I., Efremov O. M., Suvorov N. B., Danilovsky M. M., Maydanov N. P., Schklyaruk S. P. Informative core of the mathematical model of the learning curve. *Informacionno-upravlyayushchie sistemy / Information management systems*, 2011, no. 1 (50), pp. 34-40 (in Russian).
7. Schükarev A. *Über die energetischen Grundlagen des Gesetzes von Weber-Fechner und der Dynamik des Gedächtnisses* [About the energetic basics of Weber-Fechner's law and the dynamics of memory]. *Annalen der Naturphilosophie / Annals of natural philosophy*, 1907, vol. 6, no. 4, pp. 139-149.
8. Meyer M. F., Eppright F. O. The equation of the learning function. *American J. Psychology*, 1923, vol. 34, no. 2, pp. 203-222.
9. Hull C. L. *Principles of Behavior*. New York: Appleton Century Crofts, 1943, 325 p.

Received January 28, 2020; accepted March 12, 2021

Информация об авторах

ФРОЛЕНКОВ Сергей Викторович
помощник заместителя Министра; Административный департамент МЧС России; Российская Федерация, 121357, г. Москва, ул. Ватутина, д. 1; ORCID ID: 0000-0002-8704-9426; РИНЦ Author ID: 1099465; e-mail: fsv83@mail.ru

ТЕРЕБНЕВ Владимир Васильевич
канд. техн. наук, доцент, заслуженный работник высшей школы; профессор кафедры пожарно-строевой и газодымозащитной подготовки; Академия Государственной противопожарной службы МЧС России; Российская Федерация, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; ORCID ID: 0000-0003-1955-9544; РИНЦ Author ID: 449807; e-mail: terebnev_v@mail.ru

ТАРАКАНОВ Денис Вячеславович
д-р техн. наук; профессор кафедры пожарной тактики и основ аварийно-спасательных и других неотложных работ; Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС России; Российская федерация, 153040, г. Иваново, проспект Строителей, 33; ORCID: 0000-0002-5811-7397; РИНЦ Author ID: 587331; e-mail: den-pgsm@mail.ru

Information about the authors

FROLENKOV Sergey Viktorovich
Assistant Deputy Minister; Administrative Department of EMERCOM of Russian; Russian Federation, 121357, Moscow, Vatutina St., 1; ORCID ID: 0000-0002-8704-9426; RSCI Author ID: 1099465; e-mail: fsv83@mail.ru

TEREBNEV Vladimir Vasilievich
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Honored Worker of Higher Education; Professor of the Department of Fire Drilling and Gas and Smoke Protection Training; Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia; Russian Federation, 129366, Moscow, Boris Galushkin St., 4; ORCID ID: 0000-0003-1955-9544; RSCI Author ID: 449807; e-mail: terebnev_v@mail.ru

TARAKANOV Denis Viacheslavovich
Doctor of Technical Sciences; professor of Department of Fire Tactics and Foundations of Emergency Rescue and Other Urgent Operations; Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of EMERCOM of Russia; Russian Federation, 153040, Ivanovo, Stroiteley Avenue, 33; ORCID ID: 0000-0002-5811-7397; RSCI Author ID: 587331; e-mail: den-pgsm@mail.ru