

УДК 725.82.053

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КУСОЧНО-ПОСТОЯННОЙ ФУНКЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИНТЕНСИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОТОКА В РАСЧЕТАХ ВРЕМЕНИ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ

Дмитриченко А.С., к.т.н., доцент, Полевода И.И., к.т.н., Осяев В.А.

Предложена методика определения расчетного времени эвакуации людей, отличительными особенностями которой являются введение понятия «фрагмент потока» и использование абсолютного времени от момента начала эвакуации. Это позволяет в качестве основной расчетной характеристики потока на участке принимать не одно значение интенсивности его замыкающей части, а кусочно-постоянную функцию, описывающую зависимость интенсивности на участке на протяжении всего периода эвакуации. Преимущества методики подтверждаются экспериментальными данными.

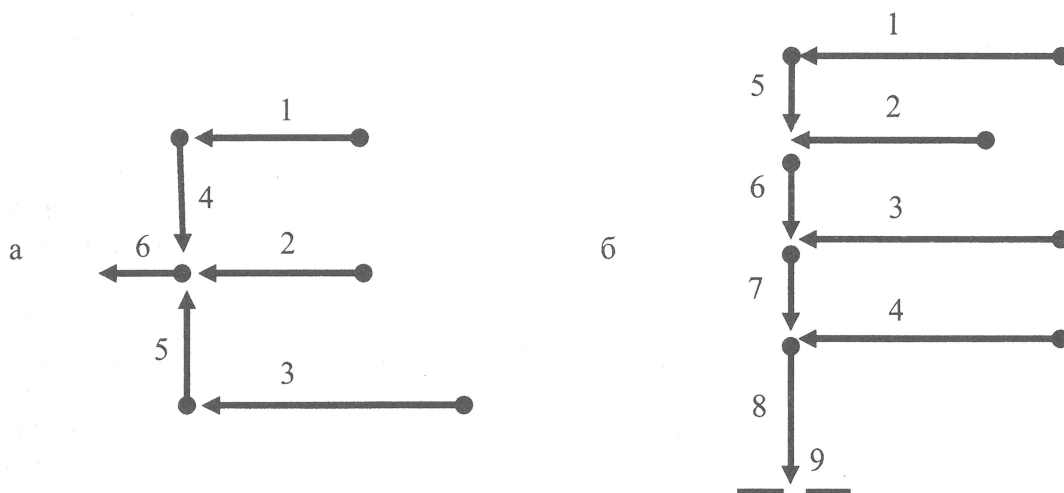
Основной задачей при проектировании противопожарной защиты зданий является обеспечение безопасности людей при пожаре. Эвакуационные пути и выходы должны обеспечивать эвакуацию людей из здания до наступления воздействия критических значений опасных факторов пожара, что подтверждается расчетом [1]. На данный момент широкое распространение получила методика ГОСТ 12.1.004 [2], имеющая ряд недостатков, в частности: неопределенность расчета в ситуации образования скоплений людских потоков сверх критической плотности, невозможность учета слияния разнесенных во времени потоков в процессе эвакуации, невозможность моделирования ситуации на различных участках пути эвакуации в режиме реального времени.

Для повышения объективности расчетов авторами разработана методика, сохраняющая базовые принципы стандартного подхода: параметры фрагмента потока являются однородными на всей протяженности его существования, интенсивность является основной характеристикой потока, зависимость скорости потока от его плотности находится по таблице ГОСТ 12.1.004. Понятие маршрута эвакуации и принципы его построения приняты в трактовке, приведенной в работе [3]. Расчет ведется с использованием абсолютного времени от момента начала эвакуации. Как следствие, расчетное время определяется как максимальное из времен T_j окончания движения людей по j -му участку пути: $T = \max\{T_1, T_2, \dots, T_n\}$, где под временем окончания движения людей по участку понимается интервал времени с момента начала эвакуации, в течение которого данный участок покинет последний проходящий по нему человек (это позволяет учесть неодновременность входа потоков на участок). В методике в качестве базовой характеристики людского потока на участке принято не одно значение интенсивности его замыкающей части, а кусочно-постоянная функция, описывающая зависимость интенсивности на протяжении всего периода эвакуации. Таким образом, людской поток делится на фрагменты (ФП), каждый из которых характеризуется постоянной интенсивностью. Основными параметрами фрагмента потока k на участке j являются интенсивность $q(j,k)$, протяженность $\tau(j,k)$, определяемая как время прохождения всего фрагмента потока через фиксированную точку, и момент $\theta(j,k)$ его входа на участок от начала процесса эвакуации. Таким образом, момент $\omega(j,k)$ начала выхода фрагмента потока k с участка j можно представить $\omega(j,k) = \theta(j,k) + \tau(j,k)$. Следовательно, если на участке j проходят $s+1$ фрагмент потока (0, 1, 2, ..., s), то время окончания движения людей по участку $T_j = \omega(j,s) + \tau(j,s)$. Для первоначальных участков поток будет состоять из одного фрагмента, при этом $\theta(j,0)=0$. При переходе ФП с рассмотренных ранее участков на последующие (при их слиянии или простом переходе одного в другой) интенсивность $q(j,k)$, скорость $v(j,k)$ и время прохождения $\tau(j,k)$ фрагмента потока определяются по стандартной методике [2]. При $q > q_{\max}$ изменяются параметры ФП с учетом его движения в условиях критического скопления людей.

Интенсивность и скорость принимаются предельными ($\bar{q} = q_{lim}, v_{lim}$), а время задержки движения определяется по формуле

$$\bar{\tau}^z(j, k) = \Delta\Theta(j, k) \cdot (q(j, k) - q_{lim}) / q_{lim},$$

где $\Delta\Theta(j, k)$ — длительность входа фрагмента потока на участок. В дальнейших расчетах для данного фрагмента потока в качестве протяженности τ и интенсивности q рассматриваются найденные значения $\bar{\tau}$ и \bar{q} .



а — расчетная схема 1; б — расчетная схема 2

Рисунок 1

Допущением предлагаемой методики является отсутствие наслоений и перемешиваний фрагментов потоков на участке. Из данного допущения следует, что на участке j могут возникнуть дополнительные задержки движения фрагментов потока вследствие более медленного движения впереди идущих фрагментов по сравнению с идущими сзади. Когда последующий фрагмент потока начинает выходить с участка раньше, чем покинет участок предыдущий фрагмент потока $\omega(j, k) < \omega(j, k-1) + \tau(j, k-1)$, для k -го потока вводится дополнительная задержка движения $\zeta(j, k) = \omega(j, k-1) + \tau(j, k-1) - \omega(j, k)$, соответственно при этом увеличивается время движения фрагмента потока k по участку j : $\bar{\tau}(j, k) = \tau(j, k) + \zeta(j, k)$. В дальнейшем в качестве $\tau(j, k)$ принимается $\bar{\tau}(j, k)$. С использованием предложенной методики проведен расчет для двух схем (рисунок 1), параметры которых и результаты расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1

№ уч.	№ ФП	b(j), м	l(j), м	N(j,0), чел.	D(j,k), м ² /м ²	q(j,k), м/мин	v(j,k), м/мин	N(j,k), чел.	Время, мин						
									Θ(j,k)	ΔΘ(j,k)	Θ(j,k)+ ΔΘ(j,k)	τ(j,k)	τ ^z (j,k)	ω(j,k)	ω(j,k)+ τ̄(j,k)
Расчетная схема 1															
1	1-0	0,75	2,0	6	0,4	15,70	39,24	6	—	—	—	0,051	—	0	0,051
2	2-0	0,75	2,0	7	0,46	16,19	34,69	7	—	—	—	0,058	—	0	0,058
3	3-0	1,6	3,0	15	0,31	14,54	46,52	15	—	—	—	0,064	—	0	0,064
4	4-1	0,75	1,2	0	—	15,70	39,24	—	0	0,051	0,051	0,030	—	0,030	0,081
5	5-1	0,6	2,0	0	—	38,82	15,00	—	0	0,064	0,064	0,133	0,120	0,253	0,317
6	6-1	0,75	0,75	0	—	16,19	34,69	3	0	0,030	0,030	0,021	—	0,021	0,051
	—				31,89	15,00	7	0,030	0,028	0,058	0,050	0,040	0,120	0,148	
	—				15,70	39,24	3	0,148	0,023	0,171	0,019	—	0,167	0,190	
	—				0	0	0	0,190	0,063	0,253	0	0	0	0	
	—				10,80	69,50	—	0,253	0,064	0,317	0,010	—	0,263	0,327	
Расчетная схема 2															
1	1-0	0,4	5,6	8	0,35	15,11	43,18	—	—	—	—	0,130	—	0	0,130
2	2-0	0,4	3,5	5	0,35	15,11	43,18	—	—	—	—	0,081	—	0	0,081
3	3-0	0,4	6,3	9	0,35	15,11	43,18	—	—	—	—	0,146	—	0	0,146
4	4-0	0,4	5,6	8	0,35	15,11	43,18	—	—	—	—	0,130	—	0	0,130
5	5-1	2,6	2,7	0	—	0,800	100,0	—	0	0,130	0,130	0,026	—	0,026	0,156
6	6-1	2,6	2,7	0	—	2,300	100,0	—	0	0,026	0,026	0,026	—	0,026	0,052
	—				3,100	100,0	—	0,026	0,055	0,081	0,026	—	0,052	0,107	
	—				0,800	100,0	—	0,081	0,075	0,156	0,026	—	0,107	0,133	
7	7-1	0,85	2,7	0	—	7,11	85,9	—	0	0,026	0,026	0,031	—	0,031	0,057
	—				14,15	47	—	0,026	0,026	0,052	0,057	—	0,083	0,135	
	—				16,59	15	3	0,052	0,055	0,107	0,180	0,05	0,282	0,337	
	—				9,56	70	—	0,337	0,026	0,363	0,038	—	0,375	0,401	
	—				7,11	85,9	—	0,375	0,026	0,401	0,031	—	0,406	0,432	
8	8-1	4,0	4,25	0	—	1,51	100,0	—	0	0,031	0,031	0,042	—	0,042	0,073
	—				3,02	100,0	—	0,031	0,026	0,057	0,042	—	0,073	0,099	
	—				1,51	100,0	—	0,057	0,026	0,083	0,042	—	0,099	0,125	
	—				4,51	100,0	—	0,083	0,047	0,130	0,042	—	0,125	0,172	
	—				3,00	100,0	—	0,130	0,005	0,135	0,042	—	0,172	0,177	
	—				0	0	—	0,135	0,147	0,282	0	—	—	—	
	—				2,87	100,0	—	0,282	0,055	0,337	0,042	—	0,324	0,379	
	—				0	0	—	0,337	0,038	0,375	0	—	—	—	
	—				2,03	100,0	—	0,375	0,026	0,401	0,042	—	0,417	0,442	
	—				0	0	—	0,401	0,005	0,406	0	—	—	—	
	—				1,51	100,0	—	0,406	0,026	0,432	0,042	—	0,448	0,474	
9	<9-4	0,7	0	0	—	<19,6	0	—	0,042	0,083	0,125	0	—	0,042	0,125
	—				25,7	0	9	0,125	0,047	0,172	0	0,184	0,309	0,356	
	—				<19,6	0	—	0,309	0,005	0,356	—	—	0,314	0,361	
	—				<19,6	0	—	0,361	0,055	0,416	0	—	0,361	0,416	
	—				<19,6	0	—	0,416	0,038	0,454	—	—	0,416	0,454	
	—				<19,6	0	—	0,454	0,026	0,480	—	—	0,454	0,480	

Экспериментальная оценка фактического времени эвакуации людей проводилась по двум расчетным схемам (рисунок 1), с сохранением параметров, приведенных в таблицах 1, 2. В ходе эксперимента моделировался процесс эвакуации людей из помещений. Число процессов принято равным 16 для каждой расчетной схемы. В ходе эксперимента регистрировалось время прохождения людьми каждого из участков с использованием секундомеров СД (СОПпр 2а-3-000). В качестве результата для каждого участка принималось среднее арифметическое результатов измерений по трем секундомерам. Время определялась с точностью до 0,5 с. Статистическая обработка результатов измерений проводилась по методике ГОСТ 8.207 [4] путем выполнения следующих операций: вычисление среднего арифметического

результатов измерений; вычисление среднего квадратичного отклонения результатов измерений; проверка гипотезы о принадлежности нормальному распределению; вычисление доверительных границ случайной погрешности результатов измерений. Среднее квадратичное отклонение результата измерений $S(\tilde{A})$ вычислялось по формуле

$$S(\tilde{A}) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{A})^2 / n \cdot (n-1)},$$

где x_i — i -й результат наблюдения; \tilde{A} — среднее арифметическое исправленных результатов измерений; n — число измерений. Проверка гипотезы о принадлежности результатов наблюдений нормальному распределению проводилась с использованием составного критерия при уровне значимости 5%. Доверительные границы случайной погрешности результата измерений определены по формуле $\varepsilon = t \cdot S(\tilde{A})$, где $t = 2,133$ — коэффициент Стьюдента при $n-1 = 15$. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2

№ уч.	$b(j), м$	$l(j), м$	$N(j,0), чел.$	Время, мин		
				\tilde{A}	$S(\tilde{A})$	ε
Расчетная схема 1						
1	0,75	2,0	6	0,086	0,004	0,010
2	0,75	2,0	7	0,107	0,006	0,013
3	1,6	3,0	15	0,218	0,015	0,032
4	0,75	1,2	0	0,116	0,006	0,013
5	0,6	2,0	0	0,275	0,016	0,035
6	0,75	0,75	0	0,286	0,017	0,037
Расчетная схема 2						
1	0,4	5,6	8	0,157	0,005	0,010
2	0,4	3,5	5	0,156	0,007	0,016
3	0,4	6,3	9	0,215	0,012	0,026
4	0,4	5,6	8	0,208	0,010	0,023
5	2,6	2,7	0	0,184	0,009	0,020
6	2,6	2,7	0	0,204	0,009	0,021
7	0,85	2,7	0	0,253	0,012	0,027
8	4,0	4,25	0	0,286	0,012	0,026
9	0,7	0	0	0,434	0,010	0,023

Результаты определения расчетного времени эвакуации для расчетных схем (рисунки 1), полученные по методике ГОСТ 12.1.004, приведены в таблице 3. Сравнительный анализ показывает, что деление потока на фрагменты и использование для оценки интенсивности кусочно-постоянной функции позволяет более объективно оценить процесс эвакуации людей.

Таблица 3

Расчетная схема	Расчетное время эвакуации, мин		Экспериментальные (фактическое) время эвакуации, мин		
	методика ГОСТ 12.1.004	предлагаемая методика	\tilde{A}	ε	$\tilde{A} \pm \varepsilon$
1	0,446	0,327	0,286	0,037	0,249—0,323
2	0,736	0,480	0,434	0,023	0,411—0,457

Заключение. Разработана методика определения расчетного времени эвакуации людей, позволяющая повысить объективность оценки процесса их эвакуации. Расчет предлагается ввести с использованием абсолютного времени от момента начала эвакуации. Основным параметром, используемым для оценки характеристик потока на участке, является интенсивность потока. Для дифференцированной оценки параметров движения людей введено понятие фрагмента потока, характеризующегося постоянной интенсивностью, что позволяет в качестве основной расчетной характеристики людского потока на участке принимать кусочно-постоянную функцию, описывающую зависимость интенсивности потока на участке на протяжении всего периода эвакуации. В качестве базового допущения методики принимается отсутствие наслоений и перемешиваний фрагментов потоков. Преимущества методики подтверждаются экспериментальными данными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Эвакуация людей из зданий и сооружений при пожаре: СНБ 2.02.02-01.
2. Пожарная безопасность. Общие требования: ГОСТ 12.1.004-91.
3. Касперов, Г.И. Методические рекомендации по расчету параметров эвакуации людей / Г.И. Касперов, А.А. Свистун, И.И. Полевода. — Минск: КИИ МЧС РБ, 1999. — 64 с.
4. Прямые измерения с многократными наблюдениями, методы обработки результатов наблюдений. Основные положения: ГОСТ 8.207-76.

Поступила в редакцию 22 мая 2007 г.