

Имитационно-стохастическая модель движения людских потоков

Множество людей, одновременно идущих в одном направлении по общим участкам пути, образуют людской поток. Участками формирования людских потоков в помещениях следует принимать проходы между оборудованием. Для последующих участков эвакуационных путей они представляют собой первичные источники людских потоков. Распределение N_i человек на участках формирования, имеющих ширину b_i и длину l_i , принимается равномерным. Поэтому в начальный момент t_0 на каждом элементарном участке Δl_i , занимаемом потоком, плотность потока $D_i^{t_0}$ определяется по формуле:

$$D_i^{t_0} = N_i^{t_0} / b_i \cdot \Delta l_i \text{ чел./м}^2. \quad (\text{П4.1})$$

При дальнейшем движении людских потоков из первичных источников по общим участкам пути происходит их слияние. Образуется общий поток, части которого имеют различную плотность. Происходит выравнивание плотностей различных частей людского потока – его переформирование. Следует учитывать, что его головная часть, имеющая перед собой свободный путь, растекается – люди стремятся идти свободно при плотности D_0 . За интервал времени Δt часть людей переходит с этих элементарных участков на последующие и происходит изменение состояния людского потока, его движение.

Скорость движения людского потока при плотности D_i на i -ом отрезке участка пути k -го вида следует считать случайной величиной $V_{D,k}$, имеющей числовые характеристики:

математическое ожидание (среднее значение)

$$\begin{aligned} V_{D,k} &= V_{0,k} \cdot (1 - a_k \cdot \ln D_i / D_{0,k}) \cdot m \quad \text{при } D_i > D_{0,k}, \\ V_{D,k} &= V_{0,k} \quad \text{при } D_i \leq D_{0,k}, \end{aligned} \quad (\text{П4.2})$$

среднее квадратичное отклонение

$$\sigma(V_{D,k}) = \sigma(V_{0,k}) \cdot (1 - a_k \cdot \ln D_i / D_{0,k}), \quad (\text{П4.3})$$

где $V_{0,k}$ и $\sigma(V_{0,k})$ - математическое ожидание скорости свободного движения людей в потоке (при $D_i \leq D_{0,k}$) и ее среднее квадратичное отклонение, м/мин;

$D_{0,k}$ – предельное значение плотности людского потока, до достижения которого возможно свободное движение людей по k -му виду пути (плотность не влияет на скорость движения людей);

a_k – коэффициент адаптации людей к изменениям плотности потока при движении по k -му виду пути;

D_i – значение плотности людского потока на i -ом отрезке (Δl) участка пути шириной b_i , чел./м²;

m – коэффициент влияния проема.

Значения перечисленных параметров следует принимать по таблице П4.1.

Таблица П4.1

Вид пути, k	$V_{0,k}$ м/мин	$\sigma(V_{0,k})$ м/мин	$D_{0,k}$ чел./м ²	a_k	m
Горизонтальный в здании	100	5	0,51	0,295	1
Горизонтальный вне здания	100	5	0,70	0,407	1
Проем*	100	5	0,65	0,295	1,25-0,05D, при $D \geq 5$
Лестница вниз	80	5	0,89	0,400	1
Лестница вверх	50	5	0,67	0,305	1

* При $D = 9$ чел./м² значения $q_i = V_i \cdot D_{0,k}$ определяются по формуле $q_i = 10 \cdot (3,75 + 2,5 \cdot b_i)$, м/мин.

При любом возможном значении V^{t_0} люди в количестве $N^{t_0}_i$, находящиеся в момент t_0 на i -ом элементарном участке, двигаются по нему и начинают переходить на последующий участок ($i+1$) (рис. П4.1). На участок i в свою очередь переходит часть людей с предыдущего ($i-1$) элементарного участка и из источника j .

По прошествии времени Δt к моменту $t_1 = t_0 + \Delta t$ только часть людей $N^{t_0}_{i,i+1}$ с участка i успеет перейти на участок ($i+1$). К этому моменту времени из $N^{t_0}_i$ людей, бывших на участке i в момент t_0 , останется $(N^{t_0}_i - N^{t_0}_{i,i+1})$ людей. Их число пополняется за счет людей, успевших за этот интервал времени перейти на него с предыдущего участка – $N^{t_0}_{i-1,i}$ и из источника $N^{t_0}_{j,i}$. Тогда плотность потока на участке i в момент t_1 будет равна:

$$D^{t_1}_i = (N^{t_0}_i - N^{t_0}_{i,i+1} + N^{t_0}_{i-1,i} + N^{t_0}_{j,i}) / b_i \cdot \Delta l. \quad (\text{П4.4})$$

Скорость движения людей, оказавшихся на участке i в момент t_1 , определяется по формуле:

$$V^{t_1}_i = V_{0,k} (1 - a_k \cdot \ln D^t_i / D_{0,k}). \quad (\text{П4.5})$$

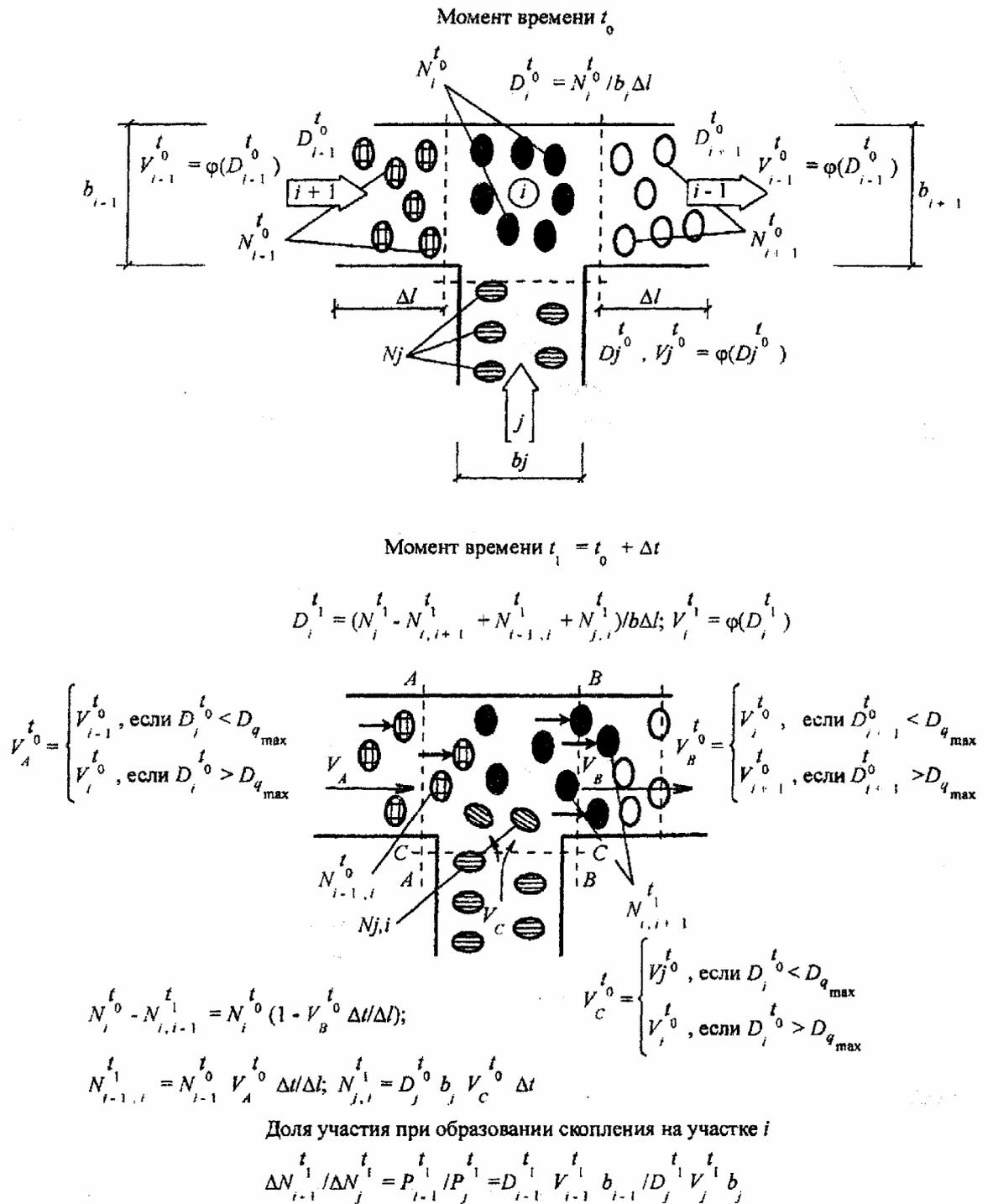


Рис. П4.1. Изменения состояния потока в последовательные моменты времени

Следует учитывать, что изменение плотности потока на каждом участке в различные моменты времени отражает процесс переформирования различных частей потока, и как частный случай, процесс растекания потока.

Изменение плотности потока на каждом из элементарных участков в последовательные моменты времени зависит от количества людей, переходящих через границы участков. В общем случае количество людей, переходящих за интервал времени Δt с участка i на последующий участок $i+1$, составляет:

$$N_{i,i+1}^{t1} = D_{i,i+1}^{t0} \cdot b_i \cdot \Delta l \cdot V_{\text{пер}} \cdot \Delta t. \quad (\text{П4.6})$$

Скорость перехода $V_{\text{пер}}$ через границы смежных элементарных участков следует принимать, руководствуясь следующими формулами:

$$V_{\text{пер}} = \begin{cases} V_i^{t0}, & \text{если } D_{i,i+1}^{t0} \leq D \text{ при } \max V_{D_{i,k}} \cdot D = q_{\text{max}} \\ V_{i+1}^{t0}, & \text{если } D_{i,i+1}^{t0} > D \text{ при } \max V_{D_{i,k}} \cdot D = q_{\text{max}} . \end{cases} \quad (\text{П4.7})$$

Следует учитывать, что в тот момент времени t_n , когда плотность потока на участке i достигла максимальной величины, на этот участок не может прийти ни один человек, ни с предшествующего участка, ни из источника. В результате перед участком i задерживается соответственно ΔN_{i-1}^{tn} и $\Delta N_{j,i}^{tn}$ людей. В следующий момент времени t_{n+1} часть людей с участка i переходит на участок $i+1$, плотность людского потока на нем уменьшится и часть скопившихся перед его границей людей сможет перейти на него. Доля их участия в пополнении людьми участка i в момент t_{n+1} определяется формулой:

$$\Delta N_{i-1}^{tn, tn+1} / \Delta N_{j,i}^{tn, tn+1} = D_{i-1}^{tn, tn+1} \cdot V_{i-1}^{tn, tn+1} \cdot b_{i-1} / D_j^{tn, tn+1} \cdot V_j^{tn, tn+1} \cdot b_j. \quad (\text{П4.8})$$

Формулы (П4.4) - (П4.8) полностью описывают состояние людского потока на элементарных участках и их переходы в последовательные моменты времени. Совокупность значений расчетного времени эвакуации, полученных при различных значениях $V_{0,k}$, формирует эмпирическое распределение вероятностей значений Σt_p . По этому распределению следует рассчитывать значение времени завершения эвакуации, соответствующее вероятности $P(t_{p,эв}) = 0,999$.