

### **Математическая модель индивидуально-поточного движения людей из здания**

Расчетное время эвакуации людей из здания устанавливается по времени выхода из него последнего человека.

Перед началом моделирования процесса эвакуации задается схема эвакуационных путей в здании. Все эвакуационные пути подразделяются на эвакуационные участки длиной  $a$  и шириной  $b$ . Длина и ширина каждого участка пути эвакуации для проектируемых зданий принимаются по проекту, а для построенных – по фактическому положению. Длина пути по лестничным маршам измеряется по длине марша. Длина пути в дверном проеме принимается равной нулю. Эвакуационные участки могут быть горизонтальные и наклонные (лестница вниз, лестница вверх и пандус).

За габариты человека в плане принимается эллипс с размерами осей 0,5 м (ширина человека в плечах) и 0,25 м (толщина человека). Задаются координаты каждого человека  $x_i$  – расстояние от центра эллипса до конца эвакуационного участка, на котором он находится (рис. ПЗ.1). Если разность координат некоторых людей, находящихся на эвакуационном участке, составляет менее 0,25 м, то принимается, что люди с этими координатами расположены рядом друг с другом – сбоку один от другого (условно: «в ряд»). При этом, исходя из габаритов человека в плане и размеров эвакуационного участка (длина и ширина) для каждого эвакуационного участка определяются: максимально возможное количество человек в одном ряду сбоку друг от друга и максимально возможное количество людей на участке.

Координаты каждого человека  $x_i$  в начальный момент времени задаются в соответствии со схемой расстановки людей в помещениях (рабочие места, места для зрителей, спальня и т.п.). В случае отсутствия таких данных, например для магазинов, выставочных залов и другое, допускается размещать людей равномерно по всей площади помещения с учетом расстановки технологического оборудования.

Координата каждого человека в момент времени  $t$  определяется по формуле:

$$x_i(t) = x_i(t-\Delta t) - V_i(t) \cdot \Delta t \quad \text{м}, \quad (\text{ПЗ.1})$$

где  $x_i(t-\Delta t)$  – координата  $i$ -го человека в предыдущий момент времени, м;

$V_i(t)$  – скорость  $i$ -го человека в момент времени  $t$ , м/с;

$\Delta t$  – промежуток времени, с.

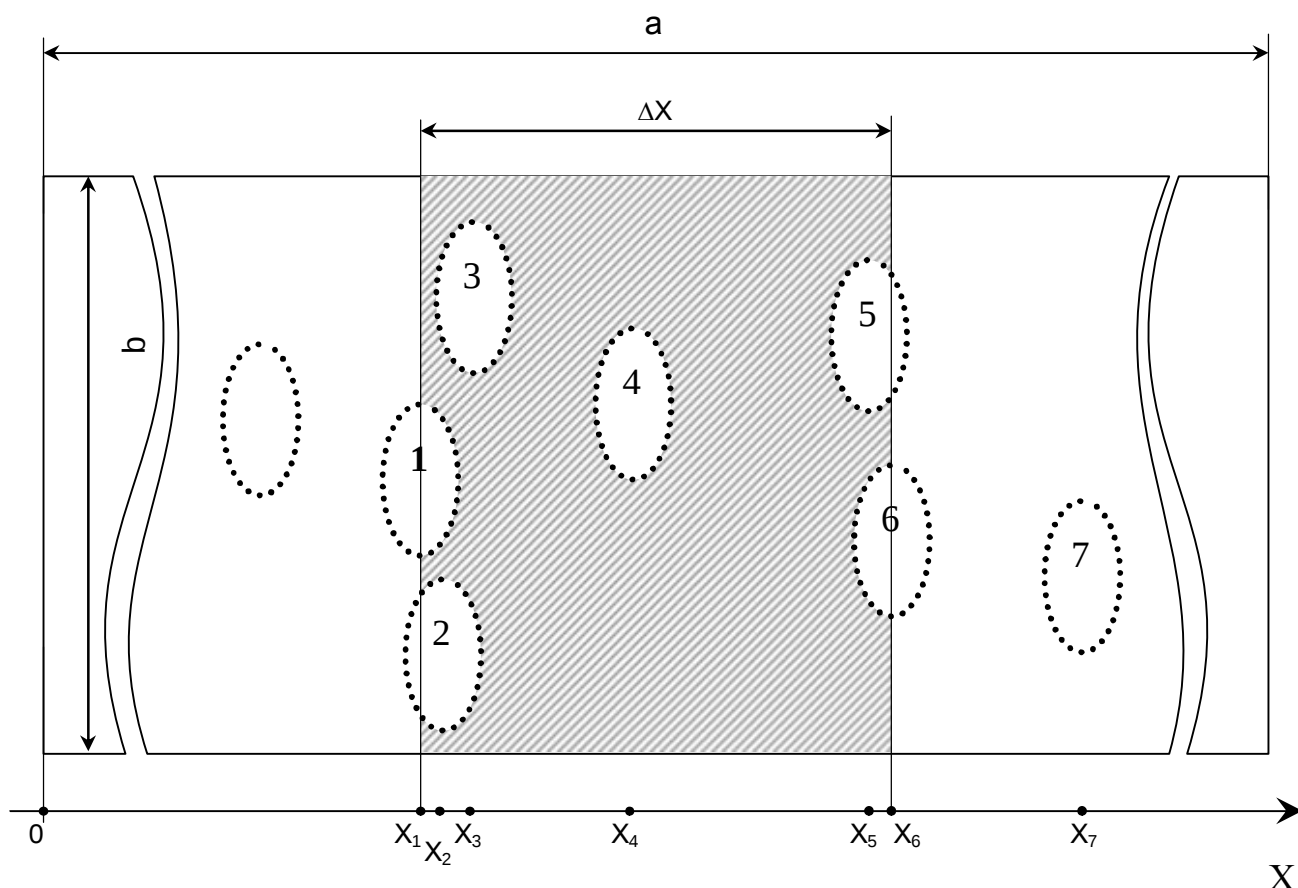


Рис. ПЗ.1. Координатная схема размещения людей на путях эвакуации

Скорость  $i$ -го человека  $V_i(t)$  в момент времени  $t$  определяется по таблице П2.1 приложения 2 к Методике в зависимости от локальной плотности потока, в котором он движется,  $D_i(t)$  и типа эвакуационного участка.

Локальная плотность  $D_i(t)$  вычисляется по группе, состоящей из  $n$  человек, по формуле:

$$D_i(t) = (n(t)-1) \cdot f / (b \cdot \Delta x) \quad \text{м}^2/\text{м}^2, \quad (\text{ПЗ.2})$$

где  $n$  – количество людей в группе, человек;

$f$  – средняя площадь горизонтальной проекции человека,  $\text{м}^2/\text{м}^2$ ;

$b$  – ширина эвакуационного участка, м;

$\Delta x$  – разность координат последнего и первого человека в группе, м.

Если в момент времени  $t$  координата человека  $x_i(t)$ , определенная по формуле (ПЗ.1), станет отрицательной – это означает, что человек достиг границы текущего эвакуационного участка и должен перейти на следующий эвакуационный участок.

В этом случае координата этого человека на следующем эвакуационном участке определяется:

$$x_i(t) = [x_i(t-dt) - V_i(t) \cdot dt] + a_j - l_j \quad \text{м}, \quad (\text{ПЗ.3})$$

где  $x_i(t-dt)$  – координата  $i$ -го человека в предыдущий момент времени на  $(j-1)$  эвакуационном участке, м;

$V_i(t)$  – скорость  $i$ -го человека на  $(j-1)$ -ом эвакуационном участке в момент времени  $t$ , м/с;

$a_j$  – длина  $j$ -го эвакуационного участка, м;

$l_j$  – координата места слияния  $j$ -го и  $(j-1)$ -го эвакуационных участков – расстояние от начала  $j$ -го эвакуационного участка до места слияния его с  $(j-1)$ -ым эвакуационным участком, м.

Количество людей, переходящих с одного эвакуационного участка на другой в единицу времени, определяется пропускной способностью выхода с участка  $Q_j(t)$ :

$$Q_j(t) = q_j(t) \cdot c_j \cdot dt / (f \cdot 60) \quad \text{чел.}, \quad (\text{ПЗ.4})$$

где  $q_j(t)$  – интенсивность движения на выходе с  $j$ -го эвакуационного участка в момент времени  $t$ , м/мин;

$c_j$  – ширина выхода с  $j$ -го эвакуационного участка, м;

$dt$  – промежуток времени, с;

$f$  – средняя площадь горизонтальной проекции человека,  $\text{м}^2$ .

Интенсивность движения на выходе с  $j$ -го эвакуационного участка  $q_j(t)$  в момент времени  $t$  определяется в зависимости от плотности людского потока на этом участке  $Dv_j(t)$ .

Плотность людского потока на  $j$ -ом эвакуационном участке  $Dv_j(t)$  в момент времени  $t$  определяется по формуле:

$$Dv_j(t) = (N_j \cdot f \cdot dt) / (a_j \cdot b_j) \quad \text{м}^2/\text{м}^2, \quad (\text{ПЗ.5})$$

где  $N_j$  – число людей на  $j$ -ом эвакуационном участке, чел.;

$f$  – средняя площадь горизонтальной проекции человека,  $\text{м}^2$ ;

$a_j$  – длина  $j$ -го эвакуационного участка, м;

$b_j$  – ширина  $j$ -го эвакуационного участка, м;

$dt$  – промежуток времени, с.

В момент времени  $t$  определяется количество людей  $m$  с отрицательными координатами  $x_i(t)$ , определенными по формуле (ПЗ.1). Если значение  $m \leq Q_j(t)$ , то все  $m$  человек переходят на следующий эвакуационный участок и их координаты определяются в соответствии с формулой (ПЗ.3). Если значение  $m > Q_j(t)$ , то количество человек равное значению  $Q_j(t)$  переходят на следующий эвакуационный участок и их координаты определяются в соответствии с формулой (ПЗ.3), а количество человек, равное значению  $(m - Q_j(t))$ , не переходят на следующий эвакуационный участок (остаются на данном эвакуационном участке) и их координатам присваиваются значения  $x_i(t) = k \cdot 0,25 + 0,25$ ,

где  $k$  – номер ряда, в котором будут находиться люди (максимально возможное количество человек в одном ряду сбоку друг от друга для каждого эвакуационного участка определяется перед началом расчетов). Таким образом, возникает скопление людей перед выходом с эвакуационного участка.

На рис. ПЗ.2 изображена блок-схема определения расчетного времени эвакуации людей из здания.

На основании заданных начальных условий (начальных координат людей, параметров эвакуационных участков) определяются плотности людских потоков на путях эвакуации и пропускные способности выходов с эвакуационных участков. Далее, в момент времени  $t = t + dt$ , определяется наличие ОФП на путях эвакуации. В зависимости от этого выбирается направление движения каждого человека и вычисляется новая координата каждого человека. После этого снова определяются плотности людских потоков на путях эвакуации и пропускные способности выходов. Затем вновь дается приращение по времени  $dt$  и определяются новые координаты людей с учетом наличия ОФП на путях эвакуации в этот момент времени. После этого процесс повторяется. Расчеты проводятся до тех пор, пока все люди не будут эвакуированы из здания.

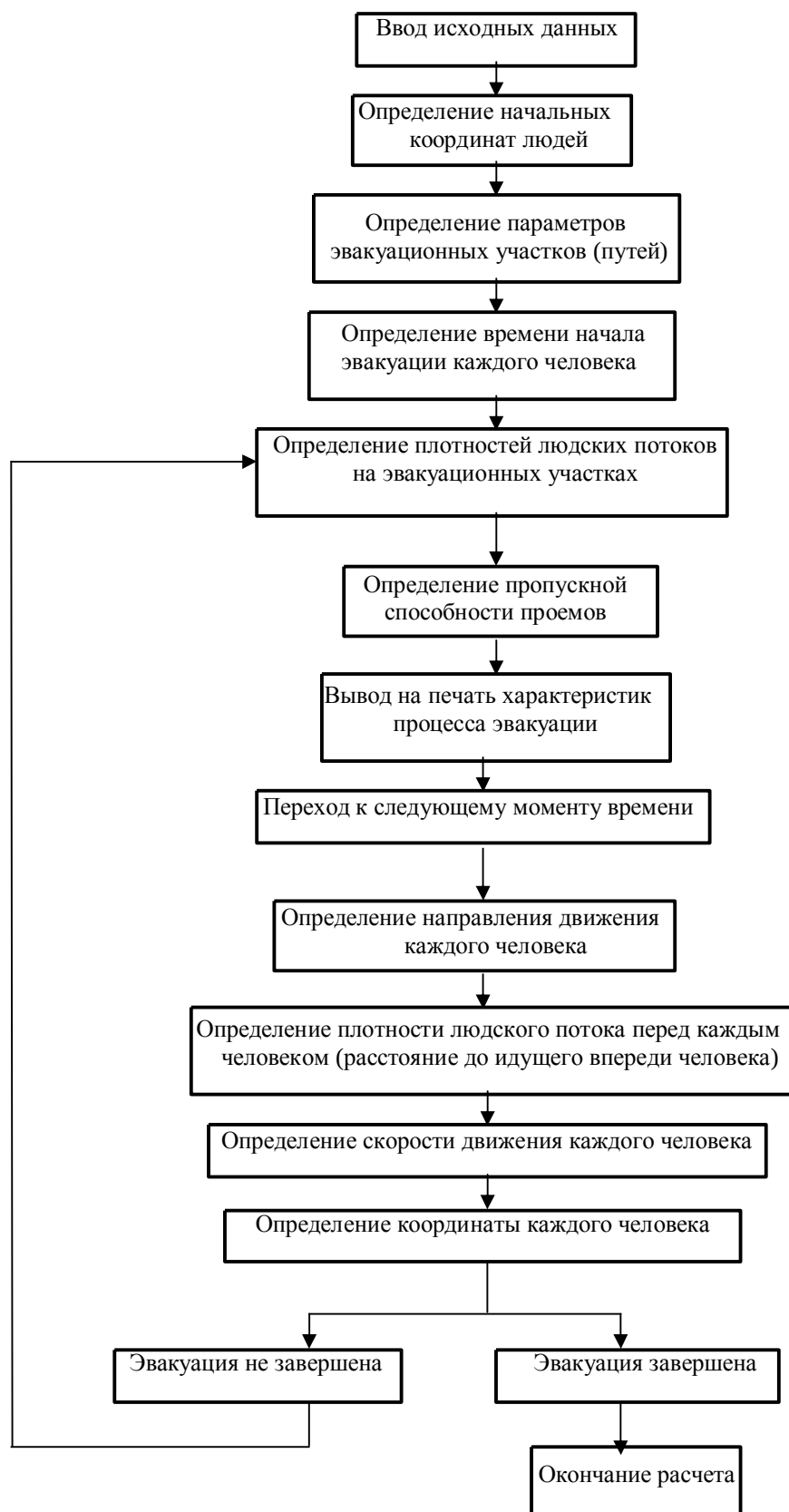


Рис. ПЗ.2. Блок-схема определения расчетного времени эвакуации людей из здания