

Теоретичні відомості

1. Нормативно-правові та нормативні документи, які регулюють проведення розрахунку часу евакуації людей з приміщень при заповненні їх димом. Сучасне будівництво характеризується зростанням кількості будівель зі складною геометрією приміщень та численними внутрішніми елементами, такими як атріуми, коридори, а також складною системою вертикальних і горизонтальних зв'язків. Це може призводити до одночасного перебування великої кількості людей всередині приміщень, що підвищує рівень пожежної небезпеки таких об'єктів [4].

Тому необхідно пам'ятати, що основою комплексного забезпечення пожежної безпеки є забезпечення безпечної евакуації людей. Своєчасна евакуація є найефективнішим засобом захисту людей під час пожежі і має пріоритет у вимогах пожежної безпеки.

Безпечна евакуація досягається завдяки правильному вибору об'ємно-планувальних та конструктивних рішень, що дозволяють вивести людей із будівлі до настання критичних для здоров'я значень небезпечних факторів пожежі.

Проведення розрахунку часу евакуації людей з приміщень та заповнення останніх димом регулюється нормативно-правовими та нормативними документами:

а) обов'язкова наявність розрахунку часу евакуації людей з приміщень у складі проектної документації для об'єктів будівництва, що мають клас наслідків (відповідальності) СС2, СС3, передбачена, передусім, ДБН А.2.2-3:2014 «Склад та зміст проектної документації на будівництво», зокрема, зміною № 1 до цих ДБН, затвердженою наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 27 грудня 2017 р. № 338, що набрала чинності ще 1 червня 2018 року.

б) відповідно до вимог Кодексу цивільного захисту України, наявність розрахунку часу евакуації з приміщень перевіряється при проведенні планових і позапланових заходів органом державного нагляду (контролю) у сфері пожежної та техногенної безпеки.

Варто зазначити, що у випадку зміни на об'єкті, під час експлуатації, об'ємно-планувальних і конструктивних рішень та призначення будівлі чи окремих приміщень та/або значної зміни кількості людей, які перебувають або можуть перебувати у будівлі, треба обов'язково проводити коригування поточного або розроблення нового розрахунку часу евакуації залежно від обсягу та характеру самих змін.

Не можна ототожнювати розрахунок евакуації та план евакуації, оскільки це абсолютно різні речі.

На відміну від плану евакуації, який містить схематичне зображення шляхів евакуації людей з різних приміщень, розрахунок часу евакуації є комплексним підходом, який моделює як саму можливу евакуацію людей різних груп мобільності з приміщень, визначаючи необхідний час для виходу останньої людини з приміщень на вулицю, так і розраховує час настання

граничних значень для небезпечних чинників пожежі, насамперед – заповнення приміщень димом.

Безпечною евакуація людей з приміщень буде вважатися тільки у тому випадку, якщо остання людина встигне покинути приміщення до моменту, коли небезпечні чинники пожежі досягнуть своїх критичних значень. В інакшому випадку існуватиме загроза для життя та здоров'я людини, а отже треба буде говорити про необхідність внесення змін до об'ємно-планувальних та конструктивних рішень, влаштування системи димовидалення або використання більш потужних вентиляторів тощо [4].

2. Порядок розрахунку і вихідні дані для розрахунку евакуації. Розрахунок часу евакуації починають з визначення розрахункового часу евакуації, який надалі буде нормою і повинен бути меншим чи однаковим з необхідним часом евакуації [5]:

$$t_p \leq t_{нб} \quad (1.60)$$

де $t_{нб}$ – необхідний час евакуації, хв;
 t_p – розрахунковий час евакуації, хв.

Далі весь розрахунок поділяють на два етапи:

- розрахунок розрахункового часу евакуації t_p ;
- розрахунок необхідного часу евакуації $t_{нб}$.

Перш ніж почати розрахунки, треба отримати у викладача всі необхідні дані, а саме:

- об'єм приміщення, V , м³;
- щільність евакуйованих, N , чел.;
- категорію виробництва з пожежо- і вибухонебезпеки;
- схему шляху евакуації;
- вид приміщення: промислове, допоміжне або громадський будинок;
- характерні особливості будинку – наявність балконів, трибун тощо;
- загальну висоту будинку, висоту поверху, площу поверху, ступінь і межу вогнетривкості конструкцій будинку, ширину коридорів, проходів, період року: теплий (середньодобова температура +8 °С і вище) або холодний (середньодобова температура нижче +8 °С).

Після визначення необхідного часу евакуації треба переконатися, що t_p і $t_{нб}$ задовольняють вимогам формули. Коли виявиться, що розрахунковий час евакуації t_p більший за необхідний $t_{нб}$, то розрахунковий час приймають як необхідний і виконують перерахунок самого будинку по ширині і довжині шляху евакуації. При цьому треба виходити із вимог максимально допустимої довжини шляху (табл. 1.9, 1.10) залежно від густоти людського потоку. Густина людського потоку визначається як відношення кількості людей, евакуйованих по загальному проходу, до площі цього проходу.

Густина людського потоку визначається як відношення кількості людей, евакуйованих по загальному проходу, до площі цього проходу [5].

Таблиця 1.9 – Значення необхідного часу евакуації з приміщень виробничих споруд I, II, III ступенів вогнетривкості

Категорія виробництва	Необхідний час евакуації (хв) при об'ємі приміщення (тис. м ³)				
	до 15	30	40	50	≥60
А,Б	0,50	0,75	1,00	1,50	1,75
В	1,25	2,00	2,00	2,50	3,00
Г,Д	Не обмежується				

Таблиця 1.10 – Швидкість та інтенсивність руху людського потоку, залежно від його щільності

Щільність потоку, м ² /м ²	Горизонтальний шлях		Двері	Сходи вниз		Сходи вгору	
	Швидкість, м ² /м ²	Інтенсивність, м/хв	Інтенсивність, м/хв	Швидкість, м ² /м ²	Інтенсивність, м/хв	Швидкість, м ² /м ²	Інтенсивність, м/хв
0,01	100	1	1	100	1	60	0,6
0,05	100	5	5	100	5	60	3
0,10	80	8	8,7	95	9,5	53	5,3
0,20	60	12	13,4	68	13,6	40	8
0,30	47	14,1	16,5	52	15,6	32	9,6
0,40	40	16	18,4	40	16	26	10,4
0,50	33	16,5	19,4	31	15,5	22	11
0,60	27	16,2	19	24	14,4	18	10,8
0,70	23	16,1	18,5	18	12,6	15	10,5
0,80	19	15,2	17,3	13	10,4	13	10,4
0,90 та більше	15	13,5	8,5	8	7,2	11	9,9

Примітки: 1. Інтенсивність руху людського потоку – це величина в м/хв або чол/хв, яка дорівнює добутку щільності й швидкості. 2. Табличне значення інтенсивності руху і дверного отвору при густоті потоку 0,9 і більше дорівнює 8,5 м/хв і встановлено для дверного отвору шириною 1,6 і більше, а при дверному отворі, меншому за ширину 1,6 м, інтенсивність руху треба обраховувати за відповідними формулами.

Кількість евакуйованих людей N дорівнює кількості працюючих у найбільш навантажену зміну. Категорію виробництва за пожежо- і вибухобезпекою приймають, виходячи з вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016.

Схема шляхів евакуації виконується аналогічно схемі на рис.1.4. Величина δ_i на рис. 1.4 – це ширина евакуаційного шляху на i -й ділянці. На рис. 1.5 наведена схема злиття людських потоків.

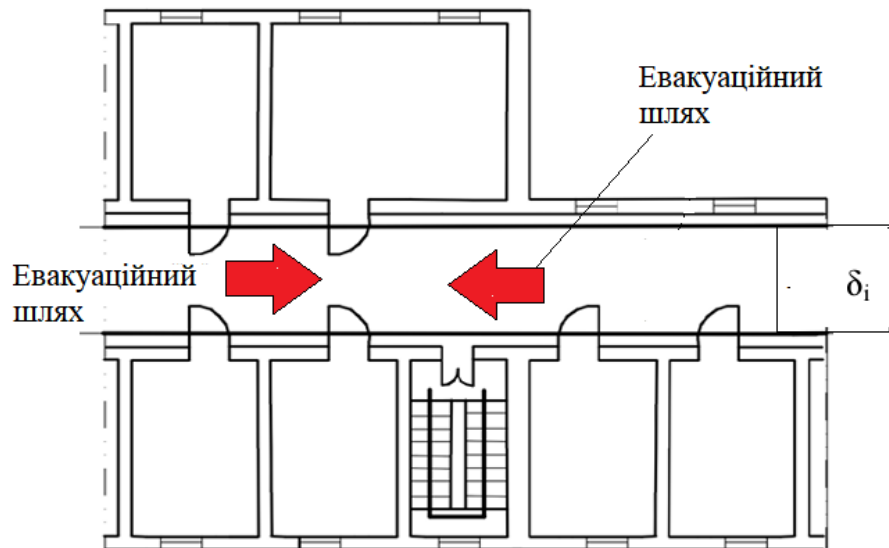


Рисунок 1.4 – Схема шляхів евакуації

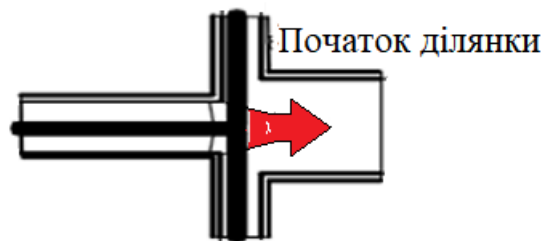


Рисунок 1.5 – Схема злиття людських потоків

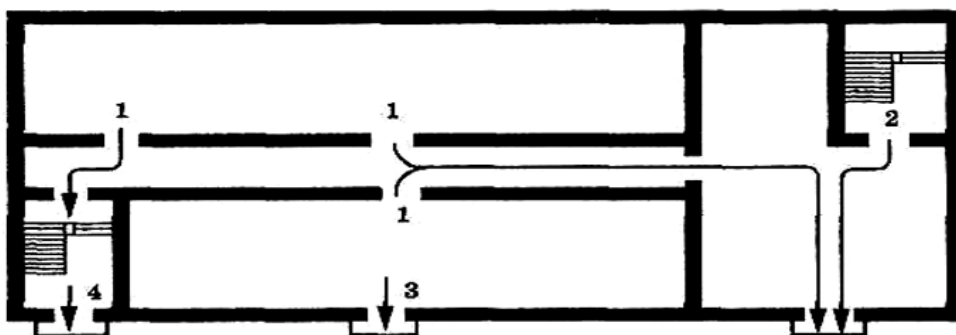
Джерело: [5]

Ступінь та межу вогнестійкості конструкцій будинків треба приймати згідно зі ДБН В.1.1-7:2016 або вихідних даних до завдання.

Залежно від того, який задається будинку період року, знаходиться середня площа горизонтальної проекції f , $\text{м}^2/\text{люд.}$: дорослої у домашньому одязі – 0,100; дорослої у зимовому одязі – 0,125; підлітка – 0,70.

3. Визначення розрахункового часу евакуації. Є три етапи евакуації. **Перший етап** – рух людей від найбільш віддаленої точки приміщення до евакуаційного виходу з нього. До таких приміщень належать виробничі цехи і майстерні, класи і аудиторії навчальних закладів тощо. **Другий етап** – рух людей по евакуаційних виходах з приміщень до виходів на вулицю. Такий рух відбувається по коридорах, проходах і фойє до сходів і по сходах через вестибюль назовні (рис. 1.6, рис. 1.7).

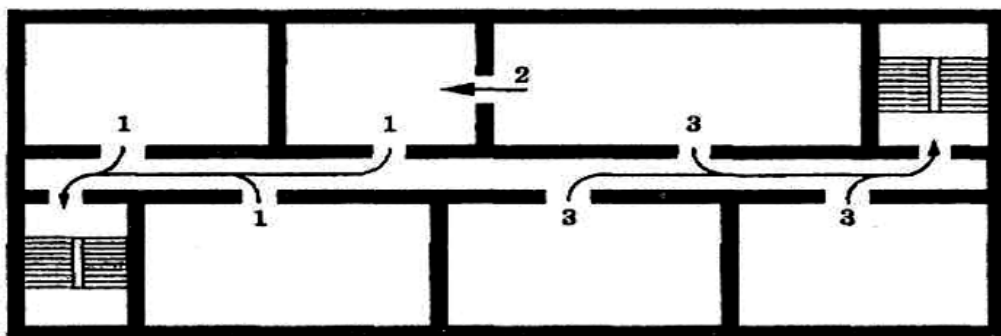
Третій етап – рух людей від виходу з будинку і розсіювання їх на території підприємства [5].



1– вихід з приміщення в коридор, який веде крізь вестибюль або сходову клітку безпосередньо назовні; 2 – вихід із сходової клітки крізь вестибюль назовні; 3 – вихід з приміщення безпосередньо назовні; 4 – вихід із сходової клітки безпосередньо назовні

Рисунок 1.6 – Евакуаційні виходи з приміщень першого поверху

Джерело: [5]



1– вихід з приміщення в коридор, який веде до сходової клітки, що має безпосередньо вихід назовні; 2 – вихід у сусіднє приміщення; 3 – вихід з приміщення в коридор, який веде до сходової клітки, що має вихід через вестибюль, відокремлений від коридору перегородкою з дверима

Рисунок 1.7 – Евакуаційні виходи з приміщень другого поверху та вище розташованих поверхів

Джерело: [5]

Розрахунковий час евакуації (t_p , хв), треба визначати як суму часу руху людського потоку по окремих ділянках шляху за формулою:

$$t_p = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_i \quad (1.61)$$

де t_1 – час руху людського потоку на початковій ділянці, хв;

t_2, t_i – час руху людського потоку на кожній з наступних після першої ділянок шляху, хв.

Щільність людського потоку D_1 на першій ділянці шляху, завдовжки l_1 та шириною δ_1 треба визначати за формулою:

$$D_1 = \frac{N_1 \cdot f}{l_1 \cdot \delta_1} \quad (1.62)$$

де N_1 – кількість людей на першій ділянці, чол.
 f – середня площа горизонтальної проекції людини, м²;
 l_1 – довжина першої ділянки, м;
 δ_1 – ширина першої ділянки, м.

За величиною щільності людського потоку D_1 знаходиться швидкість руху людей на ділянці v_1 , м/хв, та інтенсивність руху q_1 , м/хв, табл. 1.10.

Час руху людського потоку по першій ділянці шляху треба визначати за формулою [5]:

$$t_1 = \frac{l_1}{v_1} \quad (1.63)$$

де v_1 – значення швидкості руху людського потоку по горизонтальному шляху на першій ділянці, визначається за табл. 1.10, залежно від щільності D , м/хв.

Значення швидкості людського потоку на наступних ділянках шляху приймається залежно від значення інтенсивності руху людського потоку q_i по кожній з цих ділянок, які треба визначити, у тому числі і для дверних прорізів за формулою:

$$q_i = \frac{q_{i-1} \cdot \delta_{i-1}}{\delta_i} \quad (1.64)$$

де q_i, q_{i-1} – значення інтенсивності руху людського потоку на ділянках шляху, що розглядається, і попередній, м/хв;
 δ_i, δ_{i-1} – ширина розглянутої та попередньої і-ої ділянок шляху, м.

Значення інтенсивності руху людського потоку на першій ділянці шляху $q_i = q_1$ визначають за значенням D , знайденому за формулою (1.63). Коли значення q_i , визначене за формулою, менше або дорівнює значенню q_{max} , то час руху по ділянках шляху треба приймати за формулою:

$$t_i = \frac{l_i}{V_i} \quad (1.65)$$

При цьому значення q_{max} треба приймати, м/хв, з урахуванням наступних умов:

горизонтального шляху – 16,5;
дверних прорізів – 19,6;
сходів униз – 16;
сходів угору – 11.

Коли значення q_i знайдене за формулою, більше q_{max} , тоді ширину d даної i -ї ділянки шляху треба збільшити на таку величину, щоб виконувалась умова:

$$q_i < q_{max}, \quad (1.66)$$

При неможливості виконання цієї умови, інтенсивність і швидкість руху людського потоку по цій ділянці шляху визначається за табл. 1.7 при значенні щільності $D \leq 0,9$.

При злитті на початку ділянки і двох і більше людських потоків інтенсивність руху визначається за формулою:

$$q_i = \frac{\sum q_{i-1} \cdot \delta_{i-1}}{\delta_i} \quad (1.67)$$

де q_i – інтенсивність руху людських потоків, злитих на початку ділянки, м/хв;

δ_{i-1} – ширина ділянки шляху до злиття, м;

q_{i-1} – значення інтенсивності руху людського потоку на ділянці до злиття потоку, м/хв.

Для дверного отвору значення даються для $\delta \geq 1,6$. Як що $\delta < 1,6$,
 $q = 2,5 + 3,75\delta$

Повний розрахунковий час евакуації, t_p , визначається як сума часів по ділянках. Необхідний час евакуації, $t_{нб}$, складається з часу евакуації з виробничого приміщення, часу евакуації коридорами і часу евакуації сходами.

Необхідний час евакуації для виробничих приміщень знаходиться за табл. 1.9.

Необхідний час евакуації коридорами для будівель I, II і III ступеня вогнестійкості:

а) від приміщень між двома виходами або сходовими клітинами для категорій А і Б – 1 хв, В – 2 хв, Г і Д – 3 хв;

б) від приміщень з виходом у тупиковий коридор – 0,5 хв.

Для будівель IV ступеня вогнестійкості час зменшується на 30 %, для будівель V ступеня вогнестійкості – на 50 %.

Необхідний час евакуації сходами для будівель I, II і III ступеня вогнестійкості з кількістю поверхів 1...5 – 5 хв., з кількістю поверхів 6...9 – 10 хв. Для будівель IV і V ступеня вогнестійкості час зменшується на 30 % і 50 % відповідно.

Приклади розв'язання завдань

Приклад

Визначити розрахунковий та необхідний час евакуації з двоповерхової будівлі II ступеня вогнестійкості з приміщеннями категорії В.

Об'єм приміщення 1 – 1000 м³, кількість працюючих у приміщенні 1 – 20 чол, у приміщенні 2 – 20 чол, у приміщенні 3 – 15 чол.

Розрахункова схема приміщення наведена на рис.1.8.

Робітники працюють без зимового одягу.

Довжина проходу від найбільш віддаленого робочого місця до повороту $l_1 = 15$ м, ширина $\delta_1 = 1,5$ м, кількість людей на цій ділянці $N_1 = 10$ чол.

Довжина другої ділянки $l_2 = 12$ м, ширина $\delta_2 = 2$ м, $N_2 = 20$ чол.

Третя ділянка – дверний отвір, $\delta_3 = 1,6$ м.

Четверта ділянка – коридор, $l_4 = 14$ м, $\delta_4 = 2,5$ м.

П'ята ділянка – коридор, $l_5 = 10$ м, $\delta_5 = 2,5$ м.

Шоста ділянка – дверний отвір, $\delta_6 = 3,2$ м.

Сьома ділянка – сходовий марш, $l_7 = 14$ м, $\delta_7 = 2,5$ м.

Восьма ділянка – коридор з першого поверху на вулицю, $l_8 = 7$ м, $\delta_8 = 2,5$

м.

Дев'ята ділянка – вхідні двері, $\delta_9 = 3,2$ м,

Довжина ділянки 5', $l_{5'} = 20$ м.

Зробити висновки.

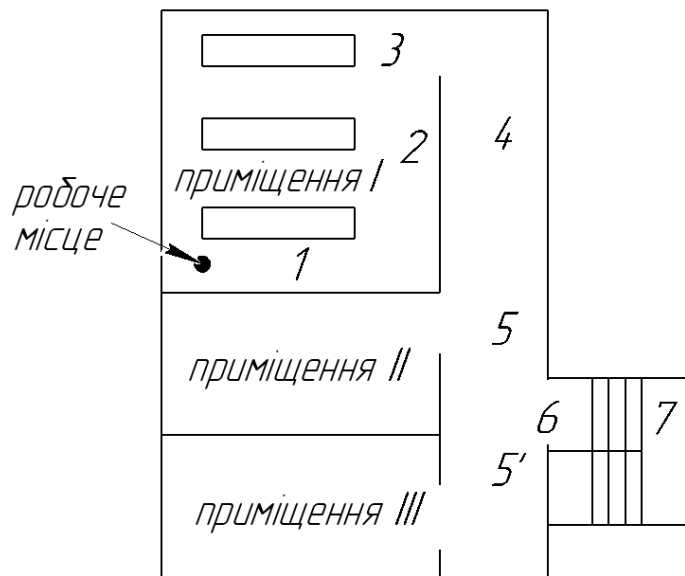


Рисунок 1.8 – Схема приміщення

Джерело: розроблено автором

Розв'язання

За вищенаведеною методикою знаходимо розрахунковий час евакуації.

1 ділянка, знаходимо щільність потоку за форм. (1.62):

$$D_1 = \frac{10 \cdot 0,1}{15 \cdot 1,5} = 0,044 \text{ м}^2/\text{м}^2.$$

За табл. 1.10 знаходимо швидкість руху робітників, інтенсивність руху:

$$v_1 = 100 \text{ м/хв}, q_1 = 4,4 \text{ м/хв}.$$

Тоді розрахунковий час евакуації на ділянці 1, форм. (1.63):

$$t_1 = \frac{15}{100} = 0,15 \text{ хв}$$

2 ділянка, знаходимо щільність потоку за форм. (1.62):

$$D_2 = \frac{20 \cdot 0,1}{12 \cdot 2} = 0,08 \text{ м}^2/\text{м}^2.$$

За табл. 1.7 знаходимо швидкість руху робітників, інтенсивність руху:
 $v_2 = 88 \text{ м/хв}$, $q_2 = 6,8 \text{ м/хв}$.

Тоді розрахунковий час евакуації на ділянці 2, форм. (1.63):

$$t_2 = \frac{12}{88} = 0,14 \text{ хв.}$$

3 ділянка, розраховуємо інтенсивність потоку за форм. (1.64):

$$q_3 = \frac{q_2 \cdot \delta_2}{\delta_3} = \frac{6,8 \cdot 2}{1,6} = 8,5 \text{ м/хв.}$$

Тоді за табл. 1.10 визначаємо швидкість потоку людей через двері (ділянка 3 та ділянка 6), приймаємо довжину $l_3 = 0,7 \text{ м}$: $v_3 = 85 \text{ м/хв}$.

Розрахунковий час евакуації на ділянці 3:

$$t_3 = \frac{0,7}{85} = 0,01 \text{ хв.}$$

4 ділянка, розраховуємо інтенсивність потоку за форм. (1.64):

$$q_4 = \frac{q_3 \cdot \delta_3}{\delta_4} = \frac{8,5 \cdot 1,6}{2,5} = 5,44 \text{ м/хв.}$$

За табл. 1.10 знаходимо швидкість руху робітників, інтенсивність руху:
 $v_4 = 97 \text{ м/хв}$, тоді розрахунковий час евакуації на ділянці 4:

$$t_4 = \frac{14}{97} = 0,14 \text{ хв.}$$

5 ділянка. Так як число робітників в другому приміщені дорівнює числу робітників в першому приміщені, то інтенсивність потоку з приміщення II можна прийняти рівною $q_3 = 8,5 \text{ м/хв}$.

Отже, інтенсивність потоку на 5 ділянці буде за форм. (1.67) дорівнювати:

$$q_5 = \frac{q_4 \cdot \delta_4 + q_3 \cdot \delta_3}{\delta_5} = \frac{5,4 \cdot 2,5 + 8,5 \cdot 1,6}{2,5} = 10,8 \text{ м/хв.}$$

Швидкість руху робітників, інтенсивність руху: $v_5 = 66 \text{ м/хв}$, тоді розрахунковий час евакуації на ділянці 5:

$$t_5 = \frac{10}{66} = 0,15 \text{ хв.}$$

6 ділянка (для зустрічного потоку):

$$D_B = \frac{15 \cdot 0,1}{20 \cdot 2,5} = 0,03 \text{ м}^2/\text{м}^2.$$

За табл. 1.10 знаходимо швидкість руху робітників зустрічного потоку, інтенсивність руху зустрічного потоку: $v_B = 100 \text{ м/хв}$, $q_B = 3,0 \text{ м/хв}$.

Знаходимо інтенсивність потоку на 6 ділянці за форм. (1.67):

$$q_6 = \frac{q_5 \cdot \delta_5 + q_B \cdot \delta_B}{\delta_6} = \frac{(10,8 + 3) \cdot 2,5}{3,2} = 10,8 \text{ м/хв.}$$

Швидкість руху робітників, інтенсивність руху: $v_6 = 77 \text{ м/хв}$, тоді розрахунковий час евакуації на ділянці 6:

$$t_6 = \frac{0,7}{77} = 0,01 \text{ хв.}$$

7 ділянка, розраховуємо інтенсивність потоку за форм. (1.64):

$$q_7 = \frac{q_6 \cdot \delta_6}{\delta_7} = \frac{10,8 \cdot 3,2}{2,5} = 13,8 \text{ м/хв.}$$

Швидкість руху робітників, інтенсивність руху: $v_7 = 66,4$ м/хв, тоді розрахунковий час евакуації на ділянці 7

$$t_7 = \frac{14}{66,4} = 0,21 \text{ хв.}$$

8 ділянка, беремо до уваги, що кількість працюючих на першому поверсі така ж, як на другому. Визначаємо інтенсивність потоку людей на ділянці 8:

$$q_8 = \frac{q_7 \cdot \delta_7 + q_6 \cdot \delta_6}{\delta_8} = \frac{13,8 \cdot 2,5 + 10,8 \cdot 3,2}{2,5} = 27,6 \text{ м/хв}$$

Швидкість руху робітників, інтенсивність руху на ділянці 8: $v_8 = 8$ м/хв, тоді розрахунковий час евакуації на ділянці 8:

$$t_8 = \frac{7}{8} = 0,88 \text{ хв.}$$

9 ділянка. Інтенсивність потоку людей на ділянці:

$$q_9 = \frac{q_8 \cdot \delta_8}{\delta_6} = \frac{27,6 \cdot 2,5}{3,2} = 21,6 \text{ м/хв.}$$

Швидкість руху робітників, інтенсивність руху на ділянці 9: $v_9 = 8,5$ м/хв, тоді розрахунковий час евакуації на ділянці:

$$t_9 = \frac{0,7}{8,5} = 0,08 \text{ хв.}$$

Таким чином, розрахунковий час евакуації буде становити, форм. (1.61):

$$t_p = 0,15 + 0,14 + 0,01 + 0,14 + 0,15 + 0,01 + 0,21 + 0,88 + 0,08 = 1,77 \text{ хв.}$$

За табл. 1.9 визначаємо необхідний час евакуації: $t_{нб} = 0,5 + 0,5 + 5 = 6$ хв.

Отже виконується умова, форм. (1.60), що: $t_p \leq t_{нб}$.

Практичні завдання до теми заняття

Завдання 1

Визначити розрахунковий та необхідний час евакуації з 3-х поверхневої будівлі (рис. 1.9).

Число робітників на всіх поверхах однакова. Об'єм першого приміщення – 1200 м^3 . Ширина дверних отворів на поверсі 1,6 м, ширина дверних отворів, що ведуть на сходовий майданчик та на вулицю – 3,2 м. Ширина маршу сходинок – 2 м. Довжина маршу сходинок між поверхами – 12 м. З першого поверху вихід зі сходової клітки безпосередньо на вулицю. Вихідні дані взяти з табл. 1.11.