

Замовник: Відділ освіти Деснянської селищної ради Чернігівської області

Нове будівництво споруди подвійного призначення (СПП) з захисними властивостями протирадіаційного укриття (ПРУ) з влаштуванням переходу з існуючого корпусу Деснянського ліцею Деснянської селищної ради за адресою: Чернігівська область, Чернігівський район, смт Десна, вул. Довженко, 34

РОБОЧИЙ ПРОЄКТ

ТОМ 11

РОЗРАХУНОК ЧАСУ ЕВАКУАЦІЇ

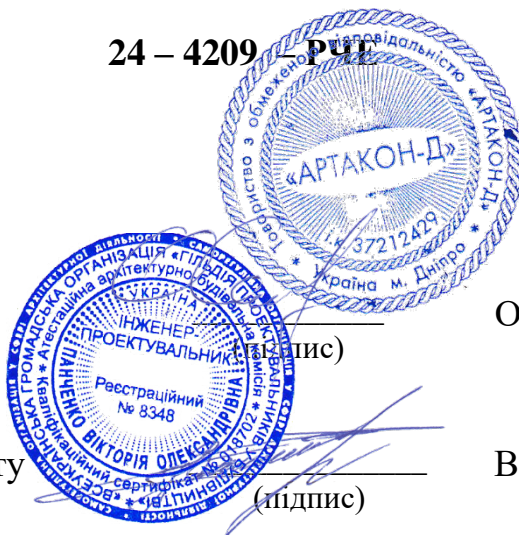
24 – 4209 – РЧЕ

Директор

Ольга ЧЕКАРЬ

Головний інженер проекту

Вікторія ПАНЧЕНКО



м. Дніпро 2024р.

						24 - 4209 – РЧЕ			
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док	Підп.	Дата	Підтвердження	Стадія	Аркуш	Аркушів
							РП	1	33
Розробив		Панченко С.			09.24		ТОВ «АРТАКОН-Д»		
Перевірів		Панченко В.			09.24				

ЗМІСТ

№ з/п	Найменування
1.	Перелік нормативних документів
2.	Терміни, визначення та скорочення
3.	Небезпечні чинники пожежі
4.	Визначення розрахункового часу евакуації людей із приміщень будівель і споруд із застосуванням спрощеної аналітичної моделі руху людського потоку
5.	Висновок
6.	Додаток

1. Перелік нормативних документів.

- ДСТУ 8828:2019 «Пожежна безпека. Загальні вимоги»;
- ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва»;
- ДБН В.2.2-40:2018 «Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення»;
- ДБН В.2.2-5:2023 «Захисні споруди цивільного захисту».

2. Терміни, визначення та скорочення.

РЕШ - розрахунковий евакуаційний шлях.

Критична тривалість пожежі - час, протягом якого досягається гранично допустиме значення небезпечного фактору пожежі в установленому режимі його зміни.

Осередок пожежі - місце первісного виникнення пожежі.

Виникнення пожежі (загоряння) - сукупність процесів, що призводять до пожежі (загоряння).

Небезпечний фактор пожежі (НФП) - фактор пожежі, вплив якого призводить до травми, отруєння або загибелі людини, а також до матеріального збитку.

Евакуація людей при пожежі - вимушений процес руху людей із зони, де є можливість впливу на них небезпечних факторів пожежі.

3. Небезпечні чинники пожежі.

Небезпечними факторами, які впливають на людей і матеріальні цінності, є:

- полум'я і іскри;
- підвищена температура навколишнього середовища;
- токсичні продукти горіння і термічного розкладання;
- дим;
- знижена концентрація кисню.

До вторинних проявів небезпечних факторів пожежі, які впливають на людей і матеріальні цінності, відносяться:

- уламки, частини зруйнованих апаратів, агрегатів, установок, конструкцій;
- радіоактивні і токсичні речовини і матеріали, що вийшли із зруйнованих апаратів і установок;

- електричний струм, що виник в результаті винесення високої напруги на струмопровідні частини конструкцій, апаратів, агрегатів;

- надзвичайні події у наслідок пожежі;
- вогнегасні речовини.

У розвитку пожежі в приміщенні зазвичай виділяють три стадії:

- початкова стадія - від виникнення локального неконтрольованого горіння до повного охоплення приміщення полум'ям; при цьому середня температура середовища в приміщенні має невисокі значення, але всередині і навколо зони горіння температура така, що швидкість тепловиділення вище швидкості відводу тепла з зони горіння, що обумовлює саме прискорення процесу горіння;

										Лист
Изм.	Кодуч	Лист	№ док	Подп.	Дата					3

- стадія повного розвитку пожежі - горять всі горючі речовини і матеріали, що знаходяться в приміщенні; інтенсивність тепловиділення від палаючих об'єктів досягає максимуму, що призводить до швидкого наростання температури середовища приміщення до максимальних значень;

- стадія загасання пожежі - інтенсивність процесу горіння в приміщенні знижується через витрачання в ньому маси горючих матеріалів або впливу засобів гасіння пожежі.

Однак в будь-якому випадку, як показує рівняння «стандартної пожежі», температура в осередку пожежі через 1,125 хв досягає значення 365 °С. Тому очевидно, що можливий час евакуації людей з приміщень не може перевищувати тривалості початкової стадії пожежі.

У початковій стадії розвитку пожежі небезпечними для людини факторами є: полум'я, висока температура, інтенсивність теплового випромінювання, токсичні продукти горіння, дим, зниження вмісту кисню в повітрі, оскільки при досягненні певних рівнів вони вражають його організм, особливо при синергічному впливі.

Дослідженнями вітчизняних і зарубіжних вчених встановлено, що максимальна температура, короткочасно переноситься людиною в сухій атмосфері, становить 149 °С, у вологому атмосфері другий ступінь опіку викликало вплив температури 55 °С протягом 20 с і 70 °С при впливі протягом 1с; а щільність променистих теплових потоків 3500 Вт/м² викликає практично миттєво опіки дихальних шляхів і відкритих ділянок шкіри; концентрації токсичних речовин в повітрі призводять до летального результату: окису вуглецю (CO) в 1,0% за 2-3 хв, двоокису вуглецю (CO₂) в 5% за 5 хв, ціаністого водню (HCN) в 0,005% практично миттєво; при концентрації хлористого водню (HCL) 0,01-0,015% зупиняється дихання; при зниженні концентрації кисню в повітрі з 23% до 16% погіршуються рухові функції організму, м'язова координація порушується до такої міри, що самостійний рух людей стає неможливим, а зниження концентрації кисню до 9% призводить до смерті через 5 хвилин.

Спільна дія деяких факторів підсилює їх вплив на організм людини (синергічний ефект). Так, токсичність окису вуглецю збільшується при наявності диму, вологості середовища, зниженні концентрації кисню і підвищенні температури. Синергетичний ефект виявляється і при спільній дії двоокису азоту і зниженні концентрації кисню при підвищеній температурі, а також при спільному впливі ціаністого водню і окису вуглецю.

Особливий вплив на людей робить дим. Дим являє собою суміш незгорілих частинок вуглецю з розмірами частинок від 0,05 до 5,0 мкм. На цих частинках конденсуються токсичні гази. Тому вплив диму на людину також має, мабуть, синергічний ефект.

Насправді, під час пожежі виділяється значно більше токсинів, вплив яких досить добре вивчено. Максимально допустимий рівень небезпечних факторів пожежі, вплив якого не приносить шкоди людині, нормований.

Виринаючись з приміщення, небезпечні фактори пожежі, перш за все дим, стрімко поширюються по комунікаційним шляхах.

Додаткові відомості про небезпечні фактори пожежі.

Горіння - реакція взаємодії горючої речовини і окислювача (кисню повітря) з виділенням великої кількості тепла і світла, що починається під впливом джерела запалювання. Полум'я - видима зона горіння. У середині цієї зони відбуваються процеси

						24 - 4209 – РЧЕ	Лист
Изм.	Кодуч	Лист	№ док	Подп.	Дата		4

окислення і тепловиділення, в результаті яких утворюються також токсичні газоподібні продукти і дисперсійне середовище, що складається з найдрібніших твердих і рідких частинок (дим). Процес окислення підтримується за рахунок поглинання кисню, що забирається з навколишнього повітря. Поширення полум'я відбувається спочатку лінійним перенесенням фронту полум'я по поверхнях конструкцій з горючих матеріалів, які оточують зону загоряння. При збільшенні вогнища пожежі виникають конвективні потоки, які переносять тепло і утворюється токсичну газо-дисперсійну суміш за обсягом приміщення, а потім і за його межі по всій будівлі.

Інтенсивність процесу горіння в приміщенні залежить від багатьох факторів. До основних факторів відносять, як правило, вид і кількість пожежного навантаження, вид і кількість отворів, об'ємно-планувальне рішення приміщення, вид і товщину огорожувальних конструкцій.

У газоповітряної суміші, що утворюється при пожежах, міститься до 70 видів хімічних сполук, які надають токсичну дію на людину.

Джерела утворення токсичних компонентів газоповітряної суміші при пожежах

Джерело утворення (матеріал)	Токсичні компоненти
Горючі матеріали, що містять вуглець	Окис і двоокис вуглецю
Целулоїд, поліуретани	Оксиди азоту
Деревина, шовк, целюлозні матеріали, віскоза, азотовмісні пластмаси	Ціаністий водень
Деревина, папір	Акролеїн
Гума	Діоксиди сірки
Полівінілхлорид, фторовані пластмаси	Соляна, бромистоводнева, плавикова кислоти, фосфоген
Меламін, нейлон,	Аміак
Деревина, нейлон, поліефірні смоли, фенолформальдегід	Альдегіди
Полістирол	Бензол
Пінополіуретан	Ізоціанати

Концентрація летючих токсичних речовин, що виділяються при пожежі

Назва і хімічна формула	Опис впливу	Концентрація	Симптоми

Оксид вуглецю, чадний газ, CO	В результаті з'єднання з гемоглобіном крові, утворюється неактивний комплекс - карбоксигемоглобін, що викликає порушення доставки кисню до тканин організму. Виділяється при горінні полімерних матеріалів. <i>Виділенню сприяє повільне горіння і недолік кисню.</i>	0,2–1 % об.	Загибель людини за період від 3 до 60 хв
Діоксид вуглецю, вуглекислий газ, CO ₂	Викликає почастищення дихання і збільшення легеневої вентиляції, має судинорозширювальну дію, викликає зрушення рН крові, також викликає підвищення рівня адреналіну	12 % об.	Втрата свідомості, смерть протягом декількох хвилин. Негайна втрата свідомості і смерть
Хлороводень, хлористий водень, HCl	Знижує можливість орієнтації людини: стикаючись з вологим очним яблуком, перетворюється в соляну кислоту. Викликає спазми дихання, запальні набряки і, як наслідок, порушення функції дихання. <i>Утворюється при горінні хлоремісних полімерів, особливо ПВХ.</i>	2000–3000 мг/м ³	Летальна концентрація при дії протягом кількох хвилин
Ціановодень, (ціаністий водень, синильна кислота), HCN	Викликає порушення тканинного дихання внаслідок придушення діяльності залізовмісних ферментів, відповідальних за використання кисню в окислювальних процесах. Викликає параліч нервових центрів. Виділяється при горінні азотовмісних матеріалів (шерсть, поліакрилонітрил, пінополіуретан, паперово-шаруваті пластики, поліаміди та ін.)	240–360 мг/м ³ 420–500 мг/м ³	Смерть протягом 5–10 хв. Швидка смерть
Фтороводород, (фтористий водень, HF)	Викликає утворення виразок на слизових оболонках очей і дихальних шляхів, носові кровотечі, спазм гортані і бронхів, ураження ЦНС, печінки. Спостерігається серцево-судинна недостатність. Виділяється при горінні фторвмісних полімерних матеріалів.	45–135 мг/м ³	Небезпечний для життя після кількох хвилин впливу

Діоксид азоту, NO_2	При попаданні в кров утворюються нітрити та нітрати, які переводять оксигемоглобін в метгемоглобін, що викликає кисневу недостатність організму, обумовлену поразкою дихальних шляхів. Передбачається, що при пожежах в житлових будинках відсутні умови, необхідні для інтенсивного горіння. Однак відомий випадок масової загибелі людей в клінічній лікарні через горіння рентгенівської плівки.	510–760 мг/м^3 950 мг/м^3	При вдиханні протягом 5 хв розвивається бронхопневмонія. набряк легенів
Аміак, NH_3	Надає сильну подразнюючу і припікаючу дію на слизові оболонки. Викликає рясну сльозотечу і біль в очах, задуха, сильні напади кашлю, запаморочення, блювоту, набряки голосових зв'язок і легенів. Утворюється при горінні вовни, шовку, поліакрилонітрила, поліаміду і поліуретану.	375 мг/м^3 1400 мг/м^3	Допустима протягом 10 хв. Летальна концентрація
Акролеїн (акриловий альдегід, $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CHO}$)	Легке запаморочення, припливи крові до голови, нудота, блювота, уповільнення пульсу, втрата свідомості, набряк легенів. Іноді відзначається сильне запаморочення і дезорієнтація. Джерела виділення парів - поліетилен, поліпропілен, деревина, папір, нафтопродукти.	13 мг/м^3 75–350 мг/м^3	Переноситься не більше 1 хв. Летальна концентрація

Нормовані значення небезпечних факторів пожежі

№ з/п	Небезпечний фактор пожежі	Граничне значення
1	Окис вуглецю (чадний газ)– CO	1,16 г/м^3 (0,1 % об'єму)
2	Двоокис вуглецю (вуглекислий газ) –	0,00011 г/м^3
3	Хлористий водень	0,000023 г/м^3
4	Температура	70 °C
5	Інтенсивність теплового	1,4 кВт/м^2
6	Концентрація кисню	15 %
7	Гранична видимість в диму	20 м

Вимоги державних будівельних норм і нормативних актів з пожежної безпеки до забезпечення безпечної евакуації людей.

Вирішивши евакуюватися, людина намічає свій маршрут руху, ту послідовність ділянок шляху, яку їй належить пройти для того, щоб потрапити з місця знаходження в те місце, куди вона намітила собі прийти за найкоротший час. При пожежі такими місцями

						24 - 4209 – РЧЕ	Лист
Изм.	Кодуч	Лист	№ док	Подп.	Дата		7

Скупчення виникають на кордоні суміжних ділянок шляху. Межами ділянок є ті поперечні перерізи шляху, де змінюється його ширина або вид. Скупчення виникають в тих випадках, коли до межі ділянки підходить щохвилини людей більше, ніж вона може пропустити за цей час та коли величина людського потоку, відповідного до кордону суміжних ділянок з попереднього ділянки, більше пропускної здатності подальшого ділянки. Очевидно, що в цих випадках недостатня пропускна здатність ділянок шляху стає перешкодою для руху людського потоку та призводить до скупчення людей. Тому при проєктуванні мережі комунікаційних шляхів будівель будь-якого призначення необхідно перевіряти забезпечення умов безперешкодності руху на кожному з яких складається РЕШ.

4. Визначення розрахункового часу евакуації людей із приміщень будівель і споруд із застосуванням спрощеної аналітичної моделі руху людського потоку

Безпечна евакуація людей з будинків, споруд і будівель при пожежі вважається забезпеченою, якщо інтервал часу від моменту виявлення пожежі до завершення процесу евакуації людей в безпечну зону не перевищує необхідного часу евакуації людей при пожежі.

Критеріями безпеки людей при евакуації є своєчасність евакуації

$$t_{нб} \leq t_{кр},$$

і безперешкодність евакуації

$$D \leq D_{доп}.$$

де $t_{нб}$ – час евакуації, тобто час виходу останньої людини в безпечну зону, в якій люди захищені від впливу НФП або в якій НФП відсутні;

$t_{кр}$ – час від початку пожежі до блокування евакуаційних шляхів в результаті поширення на них НФП, що мають гранично допустимі для людей значення (час блокування шляхів евакуації), хв.;

D_i – щільність людського потоку на i -й ділянці, тобто кількість людей, що розміщуються на займаному ними ділянці;

$D_{доп}$ – допустиме значення щільності людського потоку, після досягнення якого інтенсивність його руху (q_i – кількість людей, що проходять в одиницю часу через одиницю поперечного перерізу шляху, наприклад, чол/м/хв) досягає максимального значення (q_{max}); при подальшому збільшенні щільності її значення дуже швидко (протягом 5-10 с.) досягає максимуму D_{max} , що характерно при утворенні скупчень людей перед кордоном ділянок шляху з недостатньою пропускнуою спроможністю.

Імовірність евакуації людей визначається як числова характеристика їх можливості евакуюватися без високої щільності, небезпечної для травматизму, в безпечну зону до того як шляхи евакуації будуть заблоковані пожежею.

У сучасних умовах процес евакуації людей з будівлі при пожежі не можна вважати забезпеченим без рішення трьох принципово важливих і взаємозалежних завдань: виявлення пожежі, оповіщення про пожежу, організація і управління евакуацією. Рішення перших двох завдань вимагає певного часу, яке має прямий вплив на час початку евакуації t . Третє завдання безпосередньо впливає на характеристики людських потоків, на психоемоційний стан людей і на їх поведінку в ході евакуації. Досвід показує, що рішення кожної із зазначених завдань визначається сукупністю різних процесів, що відбуваються під час пожежі.

Як показує практика, при отриманні сигналу «Пожежа!» Від систем пожежної автоматики оператор не прагне до негайного включення СОУЕ. Це пов'язано з бажанням, а часто і з відомчими вимогами перевірити сигнал і при його достовірності доповісти про це особі, що приймає рішення. Сам оператор, як правило, по ряду причин не приймає самостійного рішення про евакуацію людей з об'єкта. Причому, якщо посадова особа не перебуває на місці, то ситуацію стає неможливо спрогнозувати. Таким чином, сумарна тривалість організаційної складової залежить від часу перевірки повідомлення; часу передачі повідомлення особі, що приймає рішення; часу, необхідного йому для прийняття рішення і передачі вказівки оператору на включення СОУЕ.

Слід також враховувати час, що витрачається людиною на сприйняття повідомлення про пожежу, яка становить, як правило, близько 20-25 с. (З яких 6-8 с подається сигнал для залучення уваги і 14-17 с осмислюється текст). При цьому, як показують спостереження, люди приступають до активних дій, прослухавши повідомлення як мінімум 2 рази.

										Лист
Изм.	Кодуч	Лист	№ док	Подп.	Дата					11

з'єднують його з виходами з приміщення. Одночасно з ним на цю ділянку можуть виходити і інші люди. Вони вибирають напрямок руху до того чи іншого виходу і тим самим визначають маршрут свого руху, тобто послідовність ділянок евакуаційних шляхів, які вони повинні пройти для того, щоб потрапити в безпечне місце. Безліч людей, одночасно йдуть за загальними шляхами в одному напрямку, утворюють людські потоки.

Незважаючи на очевидність такого визначення, воно не визначає ні структури, ні характеристик людського потоку як процесу, явно має соціальну природу і показники, далекі від звичних при описі фізико-технічних явищ (потоків рідин, електричного струму, сипучих речовин і т. п.) . Ймовірно, саме ці відмінності і пояснюють той факт, що цей століттями спостережуваний процес не отримав технічного опису, придатного для використання при проектуванні комунікаційних шляхів і для розробки заходів щодо забезпечення безпечної евакуації людей в надзвичайних ситуаціях.

Мабуть, непроста для людського сприйняття структура людського потоку визначила початковий його опис як маси людей, що складається з лав, що йдуть в потилицю один одному людей - «елементарних потоків». Така модель швидше відповідає військовому підрозділу на марші, ніж неорганізованому переміщенню людей, що обганяють один одного або йдуть кожен в своєму темпі і зі своїми цілями.

Потрібні були довготривалі численні натурні спостереження людських потоків і теоретичні дослідження, засновані на їх результатах, перш ніж сформувалося сучасне уявлення про структуру та характеристики людського потоку, що відбиває його суть в технічних параметрах процесу.

Натурні спостереження показують, що людський потік зазвичай має витягнуту сигароподібну форму.

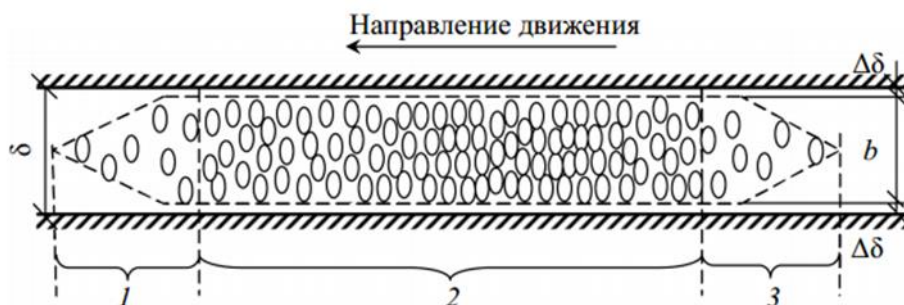


Схема людського потоку: 1 - головна частина; 2 - основна; 3 – замикаюча

Розміщення людей в потоці (як по довжині, так і по ширині) має завжди нерівномірний і часто випадковий характер. Відстань між людьми що йдуть постійно змінюється, виникають місцеві ущільнення, які потім розсмоктуються і виникають знову. Ці зміни нестійкі в часі. Отже, на ділянці, що займається потоком, можуть утворюватися частини з різними параметрами. При цьому головна і замикаюча частини складаються з невеликого числа людей, що рухаються, відповідно, з більшою або меншою швидкістю, ніж основна маса людей в потоці. При евакуації головна частина потоку йде з більшою швидкістю вперед, і по довжині і числу людей зростає, а замикаюча частина, навпаки, зменшується.

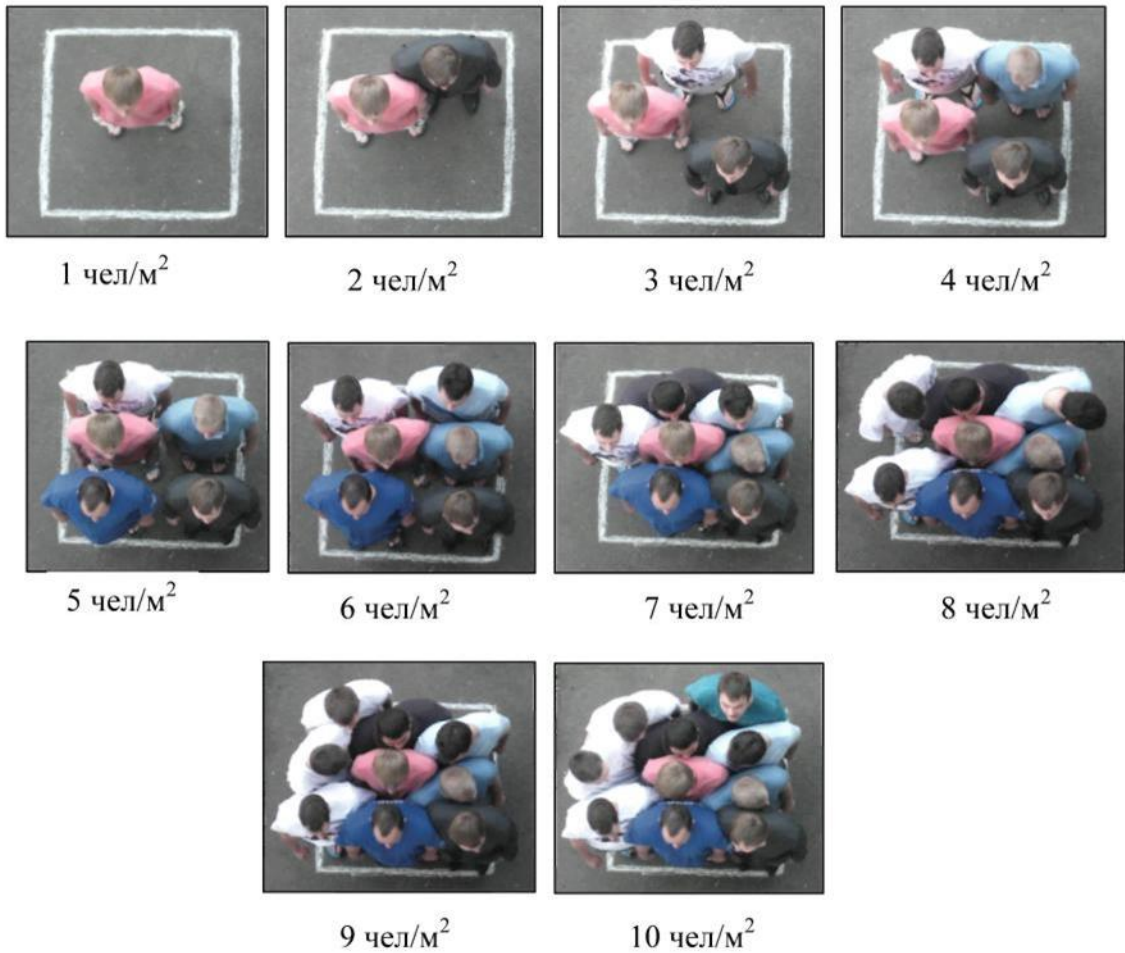
Ширина потоку b , як правило, обумовлюється вільною для руху шириною ділянки, обмеженою огорожувальними конструкціями, які порушують рівномірність розподілу людей в потоці, оскільки між огорожувальними конструкціями та потоком людей при русі завжди утворюються зазори $\Delta\delta$, яких дотримуються люди через неминуче розгойдування при ходьбі і побоювання зачепити конструкцію або якусь виступаючу її деталь. Тому рух людей в середині потоку відбувається при більшій щільності, ніж по його краях. Ширина

простору, який людський потік використовує для руху, називають шириною потоку або ефективною шириною ділянки шляху.

Щільність людського потоку D , люд/м², - відношення кількості людей в потоці N до площі займаного ним ділянки, що має ширину b (для простоти обчислень ширину потоку приймають рівною ширині ділянки) і довжину l :

$$D = N/bl$$

Діапазон можливих щільності проілюстрований на малюнку



Щільність потоку визначає свободу руху людей в ньому, і, як наслідок, відповідний рівень комфортності людей. Залежно від значень щільності запропоновано розрізняти кілька рівнів комфортності людей в потоці.

Вільний простір в потоці залежить не тільки від кількості осіб, але і від площі, займаної кожним з них, тому певну роль відіграють габарити людей.

Для обліку габаритів людей в розрахунок вводиться щільність потоку площа, яку займає людиною (його горизонтальну проекцію f , м²

$$D = Nf/bl, \text{ м}^2/\text{м}^2$$

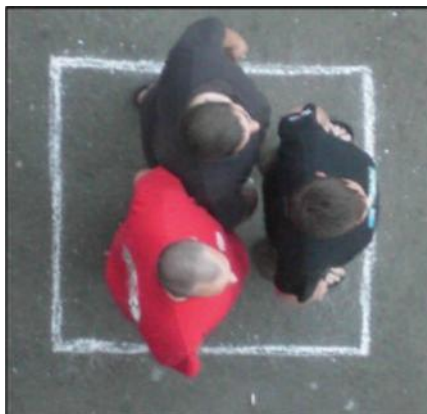
Формою горизонтальної проекції людини прийнято еліпс, діаметри якого відповідають ширині і товщині тіла людини. Площа еліпса

$$f = 0,25 \text{ тас.}$$

Характеристики рівнів комфортності

Щільність, осіб/м ²	Рівень комфорту	Відстань між людьми, м	Характеристика рівня
Горизонтальна поверхня. Рух			
0,3	A	–	Свобода руху і вибору напрямків
0,4	B	–	Свобода руху і вибору напрямків. невеликі конфлікти
0,7	C	–	Свобода руху і вибору напрямків обмежена
1,1	D	–	Швидкість руху обмежена. Найбільш висока щільність для громадських будівель
2,2	E	–	Швидкість руху обмежена, спостерігається часта зміна ритму руху. Рух вперед з високою швидкістю можливо тільки маневруванням. Існування такої щільності допускається тільки на короткі проміжки часу
Більше 2,2	F	–	Швидкість руху вкрай обмежена. Рух вперед з високою швидкістю можливо тільки маневруванням. Часті неминучі контакти з оточуючими, втрата контролю над ситуацією і порушення нормального функціонування комунікаційного шляху
Горизонтальна поверхня. Скупчення, чергу, зона очікування			
0,8	A	Більше 1,2	Вільний рух в зоні очікування
1,1	B	1,1–1,2	Обмежений рух в зоні очікування без контактів з оточуючими
1,5	C	0,9–1,1	Обмежений рух в зоні очікування з контактами з оточуючими
3,6	D	0,6–0,9	Розміщення без контактів з оточуючими. Рух в зоні очікування обмежена
5,4	E	Менше 0,6	Розміщення з контактами з оточуючими

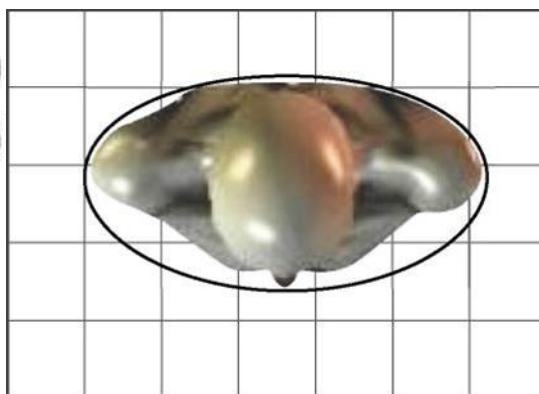
Більше 5,4	F	Фізичний контакт	Тісний фізичний контакт з оточуючими
------------	---	------------------	--------------------------------------



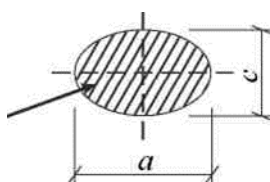
Щільність 3 чол / м²:

а - дорослі люди (займають 37,5% площі ділянки);

б - діти (займають 10,5% площі ділянки)



б



Площа горизонтальної проекції людини:

а - розрахункова;

б – дійсна

Слід зазначити, що дійсна форма горизонтальної проекції людини дещо відрізняється від еліпса. Однак з урахуванням різноманітності фізичних даних і одягу прийняте допущення несуттєво спотворює справжній розмір і форму горизонтальної проекції. Розміри людей змінюються в залежності від фізичних даних, віку і одягу. У таблицях і на малюнках наводяться усереднені розміри людей різного віку, в різній одязі

Изм.	Колуч	Лист	№ док	Подп.	Дата

24 - 4209 – РЧЕ

Лист

17

і з різним вантажем. Там же дані й значення площі горизонтальної проекції інвалідів з порушенням опорно-рухового апарату.

Експерименти дозволили встановити фізичні межі щільності для нерухомої групи людей, який становить 14 чол/м^2 при середній площі горизонтальної проекції людей, які брали участь в експерименті, що дорівнює $0,09 \text{ м}^2/\text{чол}$, тобто $D_{ф.п}$ становить $1,12-1,13 \text{ м}^2/\text{м}^2$. При цьому первісна площа горизонтальної проекції людей зменшується приблизно на 15% за рахунок деформування тіла і одягу. Результати натурних спостережень показали, що максимальне значення щільності потоку, що рухається не перевищувало $D_{\max} = 0,92 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

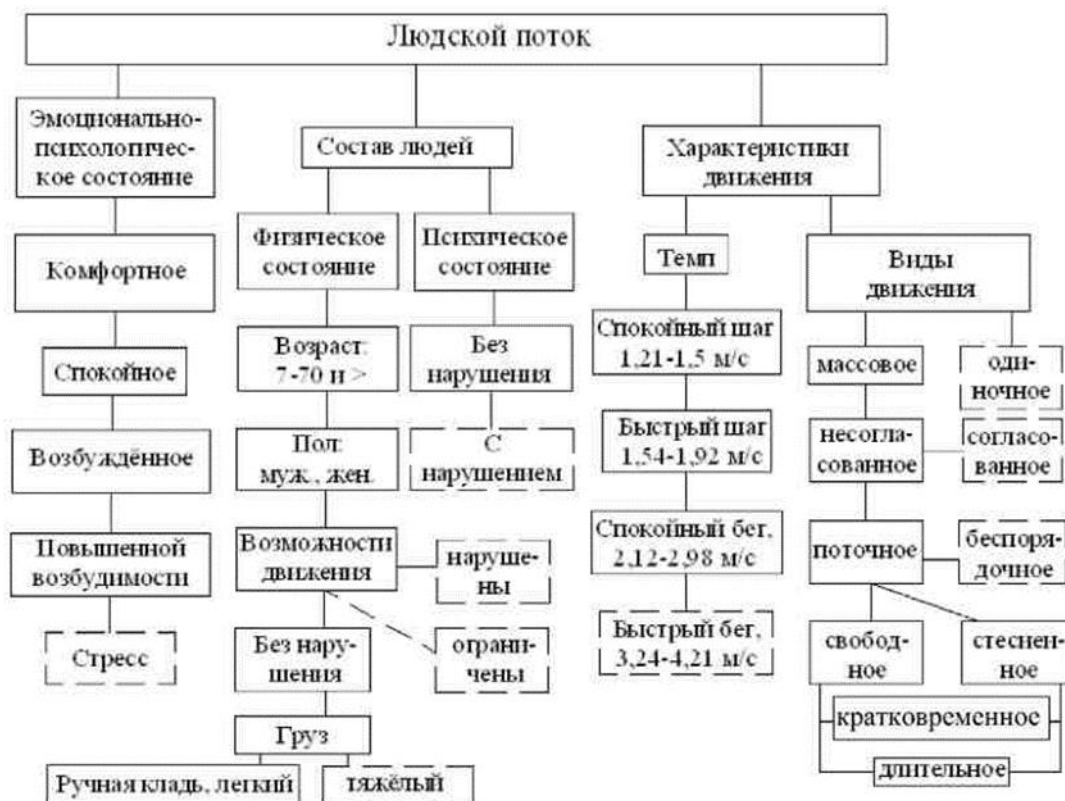
Зміни щільності чинять сильний вплив і на характер руху людей в потоці, змінюючи його від вільного, при якому людина може вибирати швидкість і напрямок свого руху, до туги в результаті подальшого збільшення щільності потоку, при якому він відчуває дедалі більші силові дії оточуючих його людей.

Вид руху людей в інтервалах щільності потоків

Значення щільності, $\text{м}^2/\text{м}^2$	0–0,05	0,05–0,15	0,15–0,4	0,4–0,7	0,7–0,9	0,9–1,0	1,0–1,15
Вид	Індивідуал	Поточне					
	Вільне	Вільне	Без контактних перешкод	С контактними перешкодами	З силовими впливами		
					Злитне	Деформація тіл	Сдавлювання тіл

Очевидно, що обмеження можливостей руху людини в потоці при збільшенні його щільності веде до зниження швидкості, яка визначає і розрахунковий час руху по даній ділянці шляху.

Склад людей в потоці, як правило, неоднорідний, як по їх індивідуальному фізичному, так і психічному стану.



Неоднаково люди реагують і на зміни умов навколишнього середовища, що змінюють відповідно загальний емоційно-психологічний стан людей в потоці. Фізичною реакцією людини на умови навколишнього середовища і наявну свободу руху буде її швидкість, вона змінює темп руху відповідно до своїх фізичних можливостей. Цілком зрозуміло, що швидкість руху різних людей в потоці буде різною, що і фіксується при натурних спостереженнях.

З ростом щільності потоку швидкість руху людей в ньому падає. Цікаво проаналізувати, як саме щільність потоку впливає на швидкість руху людини. Швидкість руху залежить від двох чинників: довжини кроку і частоти кроків (темпу руху). Висока щільність потоку (навколишні люди), з цієї точки зору, позбавляє пішохода простору, необхідного для повнокрокового руху.

Однак якщо проаналізувати відстань між людьми і щільність потоку, то видно, що при щільності до 2-2,5 чол/м² фізично відстань для повнокрокового руху є (при середньому кроці 0,7 м), але людина йде зі швидкістю меншою швидкості вільного руху. У цьому діапазоні відстань між людьми впливає на швидкість з точки зору комфорту руху, маневреності і бажання уникнути фізичних контактів з оточуючими людьми. Пішохід зменшує швидкість щоб уникнути небажаного зближення з іншими учасниками руху.

Проведена дослідницька робота показала, що зв'язок між швидкістю руху людей в потоці і його щільністю визначається за формулою:

$$V = V_0 \cdot (1 - a \ln D/D_0)$$

де V_0 – випадкова величина швидкості вільного руху (при відсутності впливу оточуючих людей), що залежить від виду шляху і емоційного стану людей; a – коефіцієнт, що визначає ступінь впливу щільності потоку при русі по j -му виду шляху; D – поточне значення щільності потоку; D_0 – порогове значення щільності потоку, після досягнення якого щільність стає фактором, що впливає на швидкість руху.

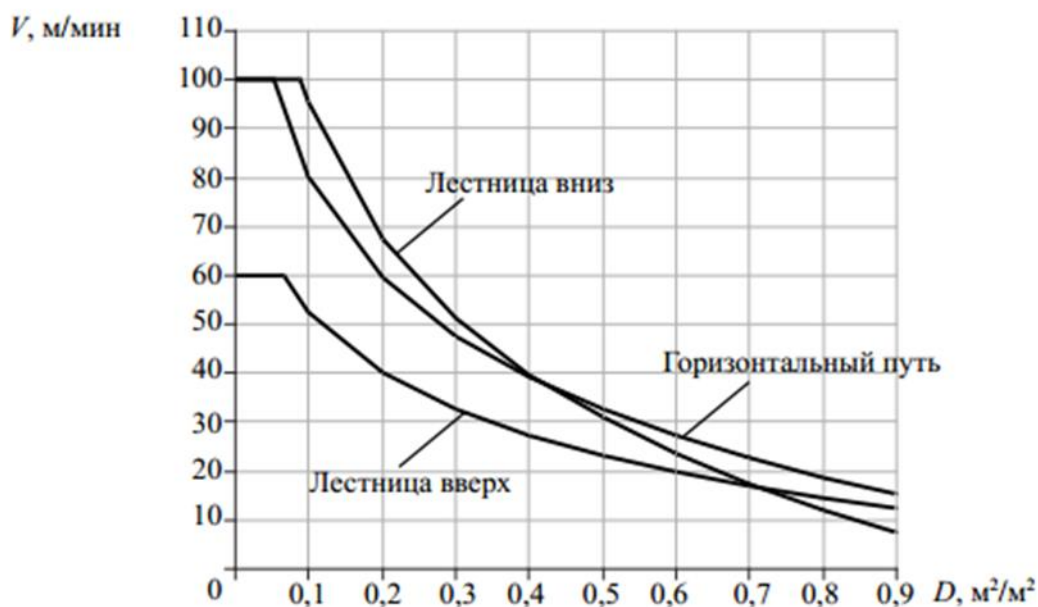
Значення швидкостей вільного руху людей в потоці при різних категоріях руху

Категорії руху	Швидкість вільного руху V_0 , м/в, за видами	
	Горизонтальний, сходи вниз, отвір	Сходи вгору
Комфортне	< 49,0	< 27,0
Спокійне	49,0–66,0	27,0–38,0
Активне	66,0–90,0	38,0–55,0
Підвищеної активності	90,0–120,0	55,0–75,0

Встановлена закономірність швидкості людей в потоці в залежності від його щільності визнана міжнародним науковим відкриттям в галузі соціальної психології.

Вибір значення швидкості руху при евакуації для цілей нормування був складним завданням. Завищення значень розрахункових швидкостей руху людських потоків могло призвести до того, що розрахунковий час евакуації виявиться меншою за фактичну. Однак і заниження цих значень неприпустимо, адже відповідні їм менші значення інтенсивності руху зумовлять призначення меншою необхідної для забезпечення безперешкодної евакуації ширини шляхів евакуації. Це особливо небезпечно в місцях злиття людських потоків, оскільки веде до затримки руху і утворення максимальної щільності скупчення людей. Крім того, загальна площа комунікаційних шляхів в будівлі може досягати 30%, що підкреслює тісний зв'язок питань пожежної безпеки з економікою будівництва.

Очевидність підвищення психологічної напруженості ситуації при виникненні пожежі зумовлює вибір категорії руху «підвищена активність» в якості інтервалу очікуваних швидкостей руху людей в цій ситуації. Аналіз результатів моделювання процесу евакуації з різних будівель і споруд показав, що достатню точність дає апроксимація, побудована на детермінованій залежності швидкості руху при значенні $V_0 = 100$ м / хв, при русі по горизонтальних коліях, через отвори і по сходах вниз і $V_0 = 60$ м / хв при русі по сходах вгору. Зазначені значення прийняті для нормування.



Изм.	Код.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

Середні значення швидкості руху в залежності від щільності людського потоку в категорії руху «підвищена активність»

З графіка видно, що швидкість руху людей в діапазоні до D_0 не залежить від щільності людського потоку, в цьому діапазоні спостерігається так звана швидкість вільного руху.

При русі потоку щільністю $0-0,4 \text{ м}^2/\text{м}^2$ по сходах вниз швидкість вище, ніж у горизонтальних коліях. У цих межах швидкість руху перевищує швидкість по горизонтальних коліях, тобто рух протікає нормально, ритмічно і до певної міри узгоджено, оскільки через наявність ступенів довжина кроку у всіх людей однакова, що при меншій витраті енергії обумовлює підвищену швидкість.

При більшій щільності людей ритмічність руху сповільнюється, оскільки порушується нормальний крок, і на кожний нижній проступ спочатку ставиться одна, а потім інша нога. Крім того, люди перестають бачити і «відчувати» шлях, тому рухаються обережно, очікуючи межі проступу і побоюючись падіння. При щільності вище $0,5 \text{ м}^2/\text{м}^2$ швидкість руху падає в результаті не тільки загального збільшення щільності, але і зазначених причин.

Швидкість руху по сходах вгору менше, ніж у горизонтальних коліях і сходах вниз, що обумовлюється підвищеними витратами енергії. Однак при щільності потоку вище $0,7$ вона більше, ніж по сходах вниз. Це пов'язано з тим, що при русі вгору рух стає менш небезпечним: при такій щільності люди, що рухаються вниз по сходах не бачать ступенів, бояться впасти і можуть призвести до затримки; при русі вгору небезпека падіння значно менше і потік рухається більш впевнено, і, як наслідок, швидко.

Важливо розуміти, що при одній і тій же щільності потоку швидкість руху неоднакова. Причина коливань швидкості залежить від емоційного стану людей, їх фізичного стану, а також наявності локальних ущільнень і розущільнень потоку. З ростом щільності потоку коливання швидкості людей зменшуються.

Спостереження показують, що людський потік зазвичай має витягнуту сигароподібну форму. При цьому головний і замикає частини складаються з невеликого числа людей, що рухаються відповідно з більшою або меншою швидкістю, ніж основна маса людей в потоці. Оскільки число людей, що складають головний і замикає частини, відносно невелике в порівнянні з основною масою, рекомендується приймати потік в формі прямокутника. Слід мати на увазі, що під щільністю потоку по його ширині b і довжині (в межах l) розуміється її середня величина. При неможливості виконання умови ($q_i \leq q_{\max}$) інтенсивність і швидкість руху людського потоку по ділянці шляху визначається при значенні D_{\max} і більше.

З огляду на крайню небезпеку порушення умов безперешкодності евакуації, діючі норми наполегливо вимагають не допускати планувальних рішень евакуаційних шляхів, що ведуть до утворення скупчень людей і тривалого перебування в них. Це і вимога забезпечити дотримання умови: $q_i \leq q_{\max}$, і введення зниження значень швидкості та інтенсивності руху людей через отвір при $q_i \geq q_{\max}$ (коефіцієнт впливу отвору m), і облік впливу ширини прорізу при утворенні перед ним максимальної щільності потоку, і вимога оцінювати час затримки руху людей через що утворилось скупчення. Це і сама використана модель, яка не враховує розтікання утворення частин людських потоків для отримання песимістичного прогнозу.

Розрахунковий час евакуації людей з приміщень і будівель встановлюється з розрахунку часу руху одного або декількох людських потоків через евакуаційні виходи від найбільш віддалених місць розміщення людей. При розрахунку весь шлях руху людського потоку поділяється на ділянки (прохід, коридор, дверний проріз, сходовий марш, тамбур) довжиною l і шириною d . Початковими ділянками є проходи між рядами обладнання і т.п.

При визначенні розрахункового часу довжина і ширина кожної ділянки шляху евакуації приймаються за проектом. Довжина шляху по сходових маршах, а також по пандусах вимірюється по довжині маршу. Довжина шляху в дверному отворі приймається рівною нулю.

Отвір, розташований в стіні товщиною більше 0,7 м, а також тамбур слід вважати самостійним ділянкою горизонтального шляху, мають кінцеву довжину l . Розрахунковий час евакуації людей (t) слід визначати як суму часу руху людського потоку по окремих ділянках шляху t за формулою

$$t_p = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_i \quad (1)$$

де t - час руху людського потоку на першому (початковому) ділянці, хв;

t_1, t_2, \dots, t_i - час руху людського потоку на кожному з наступних після першої ділянки шляху, хв.

Час руху людського потоку по першому ділянці шляху (t), хв, обчислюють за формулою

$$t_1 = l/v_1 \quad (2)$$

де l - довжина першої ділянки шляху, м;

v , - значення швидкості руху людського потоку по горизонтальному шляху на першій ділянці, визначається по **табл. 2** в залежності від щільності D , м/хв.

Щільність людського потоку (D) на першій ділянці шляху, m^2/m^2 , обчислюється за формулою

$$D_1 = N_1 f / l_1 \delta_1 \quad (3)$$

де N - число людей на першій ділянці, чол.

f - середня площа горизонтальної проекції людини, яка приймається, m^2 ,

Тип одягу	Ширина a , м	Товщина c , м	Площа горизонтальної проекції, $m^2/ос.$
літня (в приміщенні)	0,46	0,28	0,100
весняно-осіння	0,48	0,30	0,113
зимова	0,50	0,32	0,125

Тип одягу	Вікові групи		
	Молодша до 9 років	Середня 10 – 13 років	Старша 14-16 років
домашній одяг	0,04	0,06	0,08
домашній одяг зі шкільною сумкою	0,07	0,10	0,14
вуличний одяг зі шкільною сумкою	0,09	0,13	0,16

Здоровые люди, слабостыжающие, с ограничением умственной деятельности	Слабые	С поражением опорно-двигательного аппарата					
		передвигающиеся без дополнительных опор	передвигающиеся с одной дополнительной опорой	передвигающиеся с двумя дополнительными опорами	передвигающиеся на креслах-колясках	транспортируемые на носилках	транспортируемые на каталках
1	2	3	4	5	6	7	8
$\alpha = 0,28$	$\alpha_1 = 0,72$	$\alpha_2 = 0,40$	$\alpha_3 = 0,50$	$\alpha_4 = 0,50$	$\alpha_5 = 0,80$	$b_1 = 0,50$	$b_2 = 0,75$
$c = 0,46$	$c_1 = 0,82$	$c_2 = 0,75$	$c_3 = 0,65$	$c_4 = 0,90$	$c_5 = 1,20$	$l_1 = 2,10$	$l_2 = 2,10$
$f = 0,10$	$f = 0,40$	$f = 0,25$	$f = 0,20$	$f = 0,30$	$f = 0,96$	$f = 1,05$	$f = 1,58$

d_1 - ширина першої ділянки шляху, м.

Швидкість v руху людського потоку на ділянках шляху, наступних після першого, приймається по **табл. 2** в залежності від значення інтенсивності руху людського потоку по кожному з цих ділянок шляху, яке обчислюють для всіх ділянок шляху, в тому числі і для дверних прорізів, по формулі

$$q_i = (q_{i-1} \cdot \delta_{i-1}) / \delta_i(4)$$

де d - ширина розглянутого i -го і попереднього йому ділянки шляху, м;

q - значення інтенсивності руху людського потоку з даного i -му і попереднього ділянок колії, м/хв, значення інтенсивності руху людського потоку на першій ділянці шляху ($q=q_1$), визначається за **табл. 2** за значенням D установленим за формулою (3)

$$t_i = l_i / v_i(5)$$

Щільність потoku D , м ² /м ²	Горизонтальний шлях		Дверний проріз, інтенсивність q , м/хв	Сходи вниз		Сходи вверх	
	Швидкість V , м/хв	Інтенсивність q , м/хв		Швидкість V , м/хв	Інтенсивність q , м/хв	Швидкість V , м/хв	Інтенсивність q , м/хв
0,01	100	1,0	1,0	100	1,0	60	0,6
0,05	100	5,0	5,0	100	5,0	60	3,0
0,10	80	8,0	8,7	95	9,5	53	5,3
0,20	60	12,0	13,4	68	13,6	40	8,0
0,30	47	14,1	16,5	52	15,6	32	9,6
0,40	40	16,0	18,4	40	16,0	26	10,4
0,50	33	16,5	19,6	31	15,6	22	11,0
0,60	28	16,3	19,05	24,5	14,1	18,5	10,75
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 і більш	15	13,5	8,5	8	7,2	11	9,9

Примітка. Інтенсивність руху в дверному прорізі при щільності потоку 0,9 і більше, рівна 8,5 м/хв, встановлена для дверного прорізу завширшки 1,6 м і більше, а при дверному прорізі меншої ширини b інтенсивність руху слід визначати за формулою $q = 2,5 + 3,75 \cdot b$.

при цьому значення q слід приймати рівними, м/хв:

для горизонтальних шляхів	16,5
для дверних прорізів	19,6
для сходів вниз	16
для сходів вверх	11

Изм.	Колуч	Лист	№ док	Подп.	Дата
------	-------	------	-------	-------	------

якщо значення q , визначене за формулою (4), більше q , то ширину d даної ділянки шляху слід збільшувати на таке значення, при якому виконується умова

$$q_i \leq q_{\max}(6)$$

При неможливості виконання умови (11) інтенсивність і швидкість руху людського потоку по ділянці шляху і визначають за табл. 2 при значенні $D=0,9$ и більше. При цьому має враховуватися час затримки руху людей через утвореного скупчення.

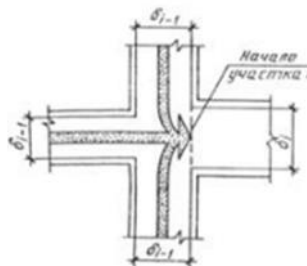
При злитті спочатку ділянки і двох і більше людських потоків (рис. 1) інтенсивність руху (q_i), м/хв, обчислюють за формулою

$$q_i = (\sum q_{i-1} \cdot \delta_{i-1}) / \delta_i(7)$$

де q - інтенсивність руху людських потоків, які зливаються на початку ділянки і, м/хв.

d - ширина ділянок шляху злиття, м;

d - ширина розглянутого ділянки шляху, м.



Черт. 1. Слияние людских потоков

Якщо значення q , визначене за формулою (7), більше q , то ширину d даної ділянки шляху слід збільшувати на таку величину, щоб дотримувалася умова (6). В цьому випадку час руху по ділянці i визначається за формулою (5).

										Лист
										24
Изм.	Код.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата					

24 - 4209 – РЧЕ

– задання розрахункової області (вибір системи приміщень, яка розглядається під час розрахунку, визначення елементів внутрішньої структури приміщень, які враховуються під час розрахунку, завдання стану прорізів);

– задання параметрів навколишнього середовища та початкових значень параметрів усередині приміщень. Вибірання місцезнаходження осередку пожежі проводиться експертним шляхом.

При цьому враховується кількість горючого навантаження, його властивості та розташування, ймовірність виникнення пожежі, можлива динаміка її розвитку, розташування евакуаційних шляхів і виходів. Найчастіше під час розрахунків розглядаються три основні види розвитку пожежі: кругове поширення пожежі по твердому горючому навантаженню, лінійне поширення пожежі по твердому горючому навантаженню, нестале горіння горючої рідини (ГР).

У відповідності до пунктів А.2.2 та А.8.1 ДСТУ 8828:2019 вибрано сценарій виникнення пожежі, з великою кількістю пожежного навантаження, що характеризується високою швидкістю поширення полум'я.

Розрахунок проводиться для найбільш віддалених точок до евакуаційних виходів. тр руху людського потоку в паралельних проходах, що виходять в один прохід не додаються.

						24 - 4209 – РЧЕ	Лист
Изм.	Код.уч	Лист	№ док	Подп.	Дата		26

Табл. 1 Розрахунок евакуації людей. Рисунок 1, 2

Початок ділянки	Кінець ділянки	Тип ділянки/ кількість людей	Інтенсивність руху, м/хв.	Час руху на ділянці, хв.	Довжина ділянки, м	Ширина ділянки, м
1.1	1.2	Горизонт/100	19,0	0,69	6	1
1.2	1.9	Двері/100	17,3	0,85	0	0,9
1.1	1.18	Горизонт/100	19,0	0,69	6	1
1.18	1.19	Двері/100	17,3	0,85	0	0,9
1.3	1.23	Горизонт/100	19,0	0,69	6	1
1.23	1.19	Двері/100	17,3	0,85	0	0,9
1.3	1.4	Горизонт/70	19,0	0,69	6	1
1.4	1.10	Двері/70	17,3	0,85	0	0,9
1.5	1.20	Горизонт/70	19,0	0,69	6	1
1.20	1.10	Двері/70	17,3	0,85	0	0,9
1.5	1.6	Горизонт/70	19,0	0,69	6	1
1.6	1.11	Двері/70	17,3	0,85	0	0,9
1.7	1.8	Горизонт/70	19,0	0,69	6	1
1.8	1.11	Двері/70	17,3	0,85	0	0,9
1.7	1.21	Горизонт/70	19,0	0,69	6	1
1.21	1.22	Двері/70	17,3	0,85	0	0,9
1.9	1.19	Злиття/400	16,5	0,26	4	1,9
1.19	1.10	Злиття/300	13,5	0,55	4	1,9
1.10	1.11	Злиття/300	13,5	0,55	4	1,9
1.11	1.22	Злиття/1000	13,5	0,55	4	1,9
1.22	1.13	Горизонт/1000	13,5	0,34	2,5	1,9
1.13	1.14	Двері/1000	8,5	1,13	0	0,9
1.14	1.15	Сходи вверх/1000	9,9	0,77	4	1,35
1.15	1.16	Горизонт/1000	13,5	0,77	2,5	2
1.16	1.17	Сходи вверх/1000	9,9	0,77	4	1,35
1.17	1.18	Горизонт/1000	13,5	0,34	2,5	2
1.19	1.20	Сходи вверх/1000	9,9	0,77	4	1,35
1.20	1.21	Горизонт/1000	13,5	0,34	2,5	2
1.21	1.22	Сходи вверх/1000	9,9	0,77	4	1,35
1.22	1.23	Двері/1000	8,5	1,13	0	0,9
-	-	-	-	$t_p = 21,56$	-	-

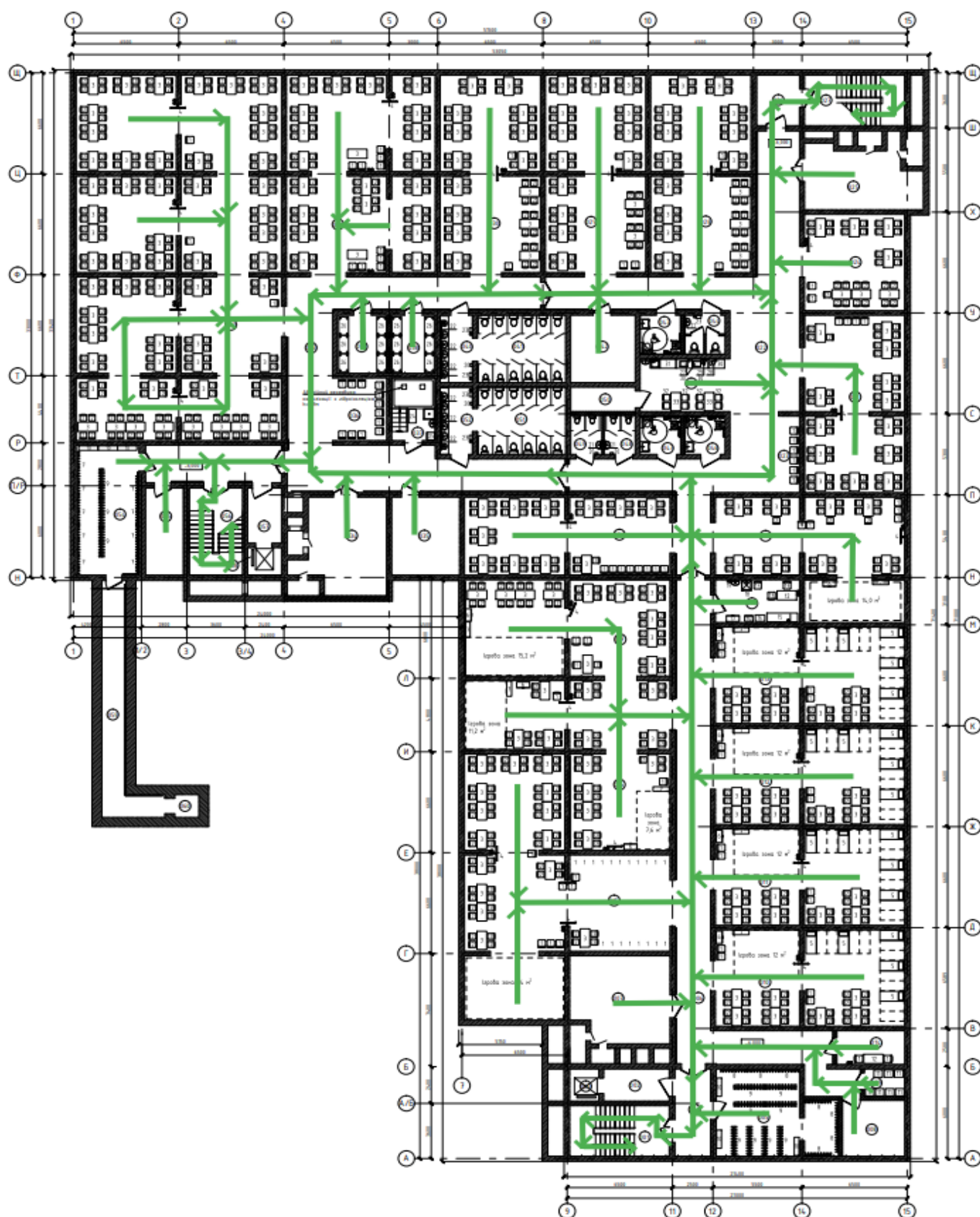
У відповідності до табл. А.3 ДСТУ 8828:2019 значення часу початку евакуації людей становить $t_{пе} = 360$ с

Таким чином, розрахунковий час (t_p) евакуації людей становить 27,56 хв.

Висновок.

Мінімальні значення класу вогнестійкості будівельних конструкцій пожежонебезпечних приміщень перевищують розрахунковий час евакуації.

Прийняті в проєкті рішення, щодо геометричних параметрів шляхів евакуації та евакуаційних виходів, відповідають вимогам нормативних документів, що дозволяє евакуувати людей до початку впливу на них небезпечних факторів пожежі.



Изм.	Колуч	Лист	№ док	Подп.	Дата

24 - 4209 – PЧЕ