

ВЛИЯНИЕ НА ГЕОМЕТРИЧНИТЕ ПОКАЗАТЕЛИ НА ЕВАКУАЦИОННИТЕ ПЪТИЩА ВЪРХУ ЕВАКУАЦИЯТА НА ХОРА ОТ СГРАДИ И СЪОРЪЖЕНИЯ

INFLUENCE OF GEOMETRIC INDEXES OF ESCAPE ROUTES OVER EVACUATION OF PEOPLE FROM BUILDING AND FACILITIES

Stefan Parvanov

Academy of the Ministry of Interior, sip_81@abv.bg

Svilena Arabadzhieva

Academy of the Ministry of Interior, ssarab@mail.bg

Abstract

The present work presents the relationship between geometric parameters of escape routes and efficiency of evacuation of people from buildings and facilities. An integrated mathematical approach for providing conditions for successful evacuation is presented. Specific effects of measurements and shapes of escape routes and escape exits on the behavior of the crowd are studied. An assessment of consequences of incorrectly applied architectural and construction measures in the construction of escape routes and escape exits is made. Adequate geometric solutions are proposed to facilitate the rapid and reliable movement of the crowd to a safe area. A concrete example of application of the approach through a calculation procedure is presented.

Keywords: evacuation, escape routes, escape exits, walkways, crowd pulsation, specific throughput.

ВЪВЕДЕНИЕ

Съвременните многофункционални сградни комплекси могат да се характеризират с разнообразие от форми, индивидуални архитектурни и конструктивни решения, многофункционалност по отношение на използването за редица масови събития, голям обем на помещенията, присъствието на голям брой хора едновременно, наличието на съвременни технически помещения и др. Предвидените средства за трансформиране на площите позволяват да се използва част от вътрешните пространства под формата на сектори, като театрални или концертни зали със сцена, оборудвана с необходимите устройства за концерти и представления, спортни прояви и т. н. Сателитните по-малки помещения могат да служат за организиране на изложби и други второстепенни дейности, предполагащи наличието на голям брой посетители. За целта на изследването фокусът попада върху безопасността на спортните сгради и съоръжения.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Въз основа на научните постижения геометричните показатели на евакуационните пътища имат значителен потенциал за смекчаване на нарастващите разходи за активни и пасивни мерки за безопасност в строителството. Въпреки това, около една четвърт от жертвите при кризисна ситуация загиват по време на евакуацията, което показва, че има възможности за спасяване на живот, чрез подобряване на изчислителните модели за евакуация. Изготвянето на ефективни проекти за евакуация и усъвършенстване на пътищата за евакуация могат да окажат въздействие върху загубата на живот при пожар или друго кризисно събитие. Интересът към оценката на движението на посетителите в сграда по време на евакуацията е от десетки години.

През годините редица изследователи са разработили корелации, основани на експериментални данни, за да предвидят движението на човешките потоци по време на евакуацията на обектите, а други са разработили компютърно базирани евакуационни модели, които се различават значително по отношение на приложението и сложността. Всички те са предназначени да осигурят на архитектите, строителните конструктори и инженерите възможността да разработят по ефективни пътища за евакуация.

Ефективна евакуация по принцип е постигната, когато необходимото време за евакуация (НВЕ) е по-кратко от свободното време за евакуация (СВЕ), където СВЕ се дефинира като момента, в който условията, предизвикани от факторите на заплахата в рамките на заемащото пространство или сграда достигнат критични стойности. Методите за оценка на развитието на пожар, индуцираните условия и критериите за устойчивост за определяне на свободното време за евакуация не са разгледани в настоящата работа. НВЕ може да се подразделя на няколко интервала от време, сумата от които представлява общото време за евакуация:

$$\text{НВЕ} = t_d + t_a + t_o + t_i + t_e, \quad (1)$$

където:

t_d - времето от момента на възникване на пожара до откриването му;

t_a - време от откриване до уведомяване на посетителите в случай на пожар;

t_o - времето от уведомяване до решаване за предприемане на някакви действия от посетителите;

t_i - времето от решаване за предприемане на действия до започване на евакуацията

t_e - времето от започване на евакуацията докато тя завърши.

Настоящата работа разглежда Пример, който може да се използва за оценка на последния елемент на НВЕ, а именно времето за евакуация „ t_e “.

Разликата между времето за евакуация на изчислението (модела) и действителното време за евакуация може да бъде изразена като явна евакуационна ефективност, използвайки връзката:

$$t_e = t_{me} \cdot E, \quad (2)$$

където:

t_{me} - моделираното време за евакуация (s)

E - ефективност на евакуацията

Ефективността на евакуацията, "E", е функция на елементите, които пречат на предполагаемия евакуационен човешки поток. Типични примери за елементи, които влияят на ефективността са времеви закъснения, свързани със спирането и подновяването на потоците в точките на сливане, както и неефективно равновесие при използването на изходите, при което някои евакуационни маршрути са претоварени, докато други не се използват достатъчно.

Всички тези фактори могат да намалят ефикасността на евакуацията. Всички елементи обаче рядко се сблъскват в една евакуация. Първата задача при оценката за безопасна евакуация обикновено е да се изчисли времето на евакуация.

Разгледан е пример за изчисление на евакуацията на открито спортно съоръжение –стадион:

Стъпка 1: Определяне на необходимата широчина на пътоходите на трибуните за евакуация

За осигуряване на безопасната евакуация и в съответствие с изискванията за сигурността на спортните обекти и мерките срещу насилието и лошото поведение на зрители преди, по време и след провеждане на спортни прояви, организирани на стадиони

и в спортни зали, трибуните на отделните сектори са разделени според архитектурния проект.

Трибуните за зрители са разделени чрез пътеходи на блокове. В различни технически източници, нормативни документи и стандарти има различни стойности за широчината на пътеходите. Посочват се следните изисквания:

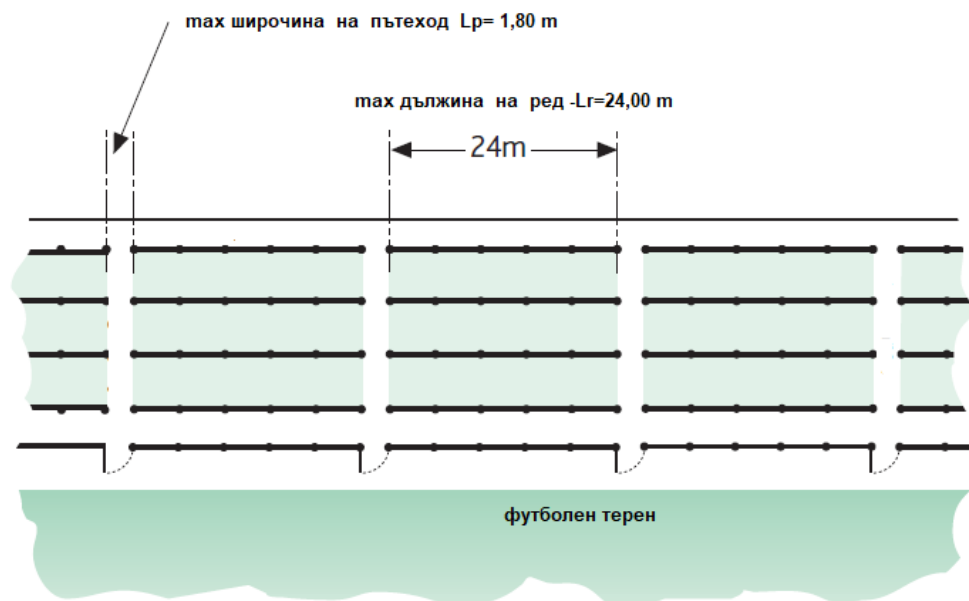
Табл. 1. Установени изисквания за широчината на пътеходите

Обект	Min (m)	Max (m)
Нов, при изграждане	1,20	1,80
Стар, при реконструкция	1,10	1,80

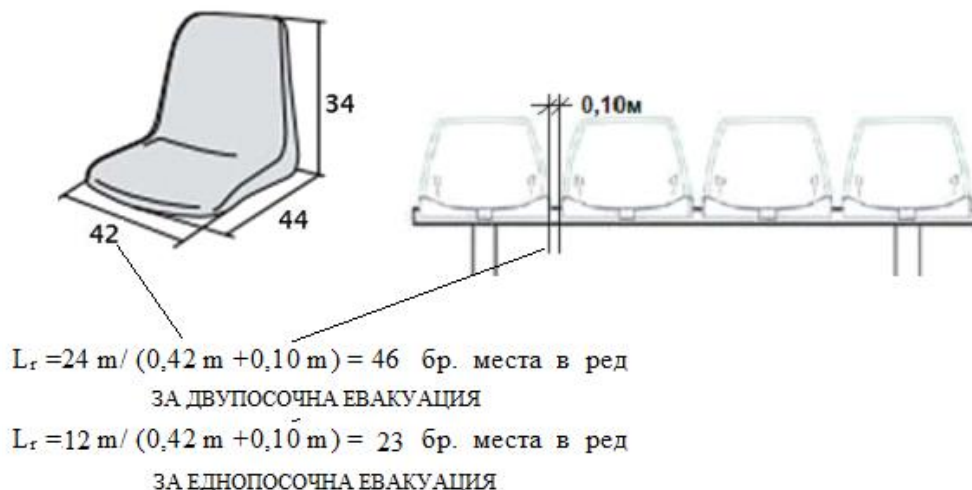
На база на стойностите в табл. 1. се приема максимална широчина - $L_p=1,80$ m

Стъпка2: Определяне на необходимата дължина на редовете (L_r), разположени по трибуните

Посочват се изисквания за дължина на редовете:



Фиг. 1. Изисквания за дължина на редовете



Фиг. 2. Изисквания към седалките в редовете

Приема се максимална дължина на ред - $L_r = 18,8 \text{ m} < 24,00 \text{ m}$, или
 36 бр. места < 46 бр. места за двупосочна евакуация.

Приема се максимална дължина на ред - $L_r = 9,9 \text{ m} < 12,00 \text{ m}$, или
 18 бр. места < 23 бр. места за едностранна евакуация.

Стъпка 3: Определяне на капацитета (броя на зрителите) на трибуна V по сектори по графични данни при спазване на приетите дължини на ред и брой места в ред.

Табл. 2. Капацитет (брой на зрителите) на трибуна V по сектори

Трибуна	Сектори	Бр. места
		[бр.]
" ТРИБУНА V "	V01	489
	V02	600
	V03	586
	V04	586
	V05	600
	V06	489
	V 0102	49
	V0203	49
	V0304	30
	V0405	49
	V0506	49
	Общо	3536

Стъпка 4: Определяне на подходяща плътност на трибуна V

По изисквания за спортни съоръжения [1] подходящата плътност е изразена в брой зрители на 10 квадратни метра, т. е максималният брой, който може да се приложи, е нормата (D) от 47 души на 10 квадратни метра, която е максимална и не следва да се превишава.

Стойността на плътността на човешкия поток се променя, защото следва да се вземат под внимание и отчетат два основни фактора: Фактор (P) на оценката на физическото състояние на зрителите по трибуните и Фактор (S) качеството на управлението на безопасността на зоната спортната зона.

Тези фактори в количествено изражение се определят на база на коефициенти със стойности от 0,00 до 1,00.

Препоръчително е коефициентът на фактора (P) да е 0,6, а коефициентът на фактора (S) да е 0,9.

От горе изложеното, следва подходящата плътност (Da) да се редуцира, на база на което се получава нормативната стойност на подходяща плътност на човешкия поток (ПЧП).

$$D_a = P \times S \times 47 = 0,6 \times 0,9 \times 47 = 25,38 \approx 25 \text{ души на } 10 \text{ кв. метра} \approx 2,5 \text{ чов/кв.м} \quad (3)$$

Но тази посочена плътност на човешкия поток може да се използва когато е установено време за евакуация от 8 (осем) минути [1], което противоречи на [2].

В действащата към момента нормативна база в Р България [2], в която допустимото време за евакуация от строежи с височина до 28 m от класове на функционална пожарна опасност Ф1 - Ф4, както и от строежи от категории по пожарна опасност Ф5А, Ф5Б и Ф5В с два и повече етажа се определя, както следва:

...за строежи от I и II степен на огнеустойчивост - 6 min.

Ето защо е необходимо да се изследва плътността на човешкия поток и да се избере подходяща плътност.

Всяко движение се характеризира със свои специфични особености, които трябва да се имат предвид при проектирането и експлоатацията на сградите и съоръженията.

При нормални условия движението по пътеките (пътеходите), коридорите, променадите, стълбищата се регулира от разумната воля на хората, като при това се спазва вежливост и спокойствие. При необходимост посоката и скоростта на движение могат да се изменят, движението може да се забави или да спре.

Стойностите на плътността на човешките потоци и тяхната скорост при нормални условия на движение е възможно да се колебае в широк диапазон, като по правило плътността не трябва да надвишава определени общоприети норми на близост и поведение.

Плътност на човешкия поток – това е най-важният параметър за „принудително движение“, тъй като от него зависят всички други параметри. Използват се две плътности – абсолютна и относителна плътност. Абсолютната плътност на човешкия поток представлява броят на хората намиращи се в 1 м² от евакуационния път (участък от пътя).

$$D_a = \frac{N_i}{A_i} \text{ (човека /м}^2\text{)} \quad (4)$$

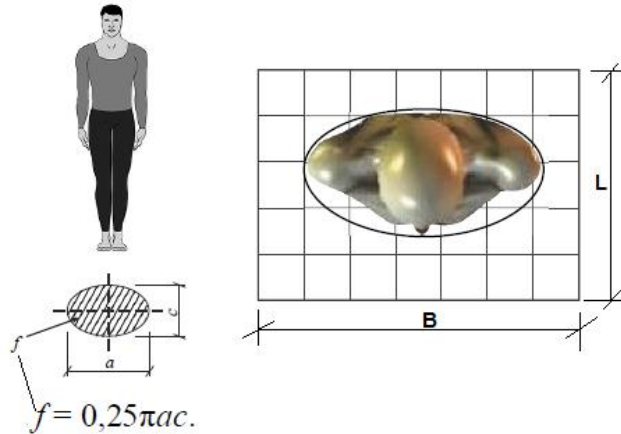
N_i - брой на хората намиращи се в i-тия участък от евакуационния път (човека).

A_i - площ на i-тия участък от (м²).

Плътността на човешките потоци е най-голяма по пътищата за евакуация (стълбища, коридори, проходи, фойета, особено пред изходите и стесненията). Тук поведението на хората може да бъде лишено от вежливост, в някои случаи поведението става агресивно и е повлияно от желанието на всеки субект да се възползва от евакуационния път. Именно този стремеж, ако е необуздан, води до голямо увеличаване на плътността, намаляване скоростта на движение и пропускателната способност. Точната стойност на D зависи от възрастта на хората, тяхното физическо състояние и облеклото. Затова е правилно да се използва т. нар. относителна плътност, която може лесно да се превърне в абсолютна.

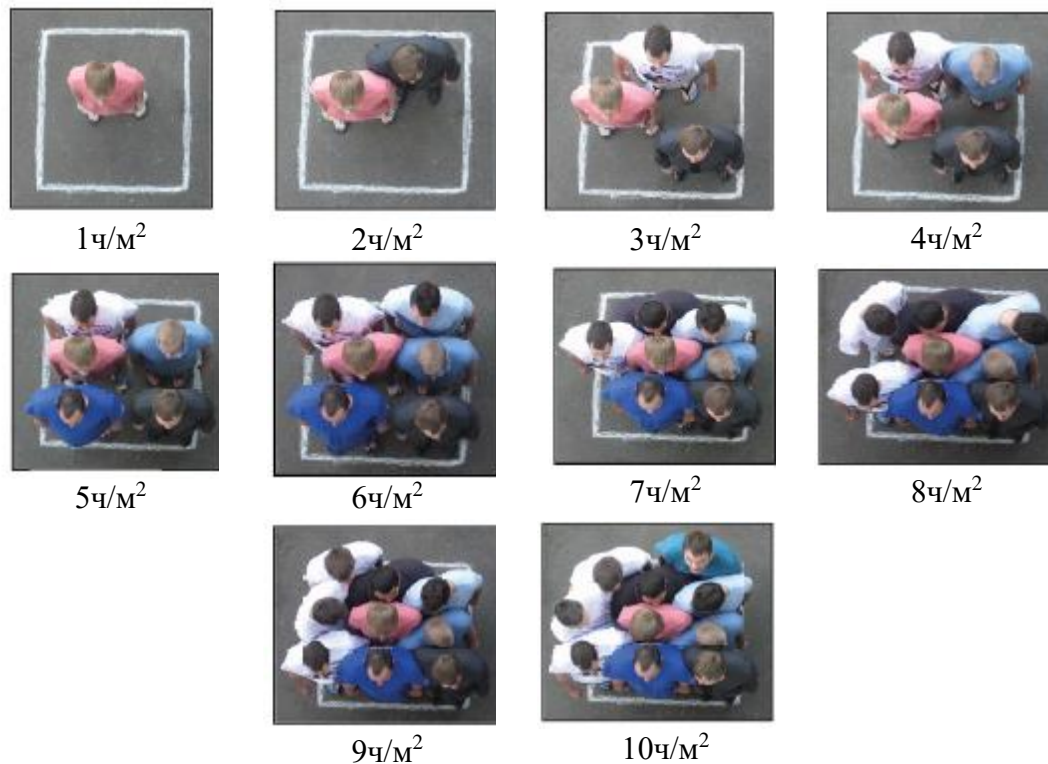
$$D_o = \frac{N \times f}{B \times L} (\text{м}^2/\text{м}^2) \quad (5)$$

Относителната плътност на човешкия поток (D), е съотношението на броя на хората в потока (N) по площта (f -средна площ на хоризонталната проекция на 1 човек като елипса) върху произведението на заеманата площ, с размери ширина „ B “ и дължина „ L “:



Фиг. 3. Средна площ на хоризонталната проекция на 1 човек като елипса

За опростяване на изчислителния модел се приема за f (площ на 1 човек) $\approx 0,126 \text{ м}^2$, или тя се приема като константна величина, като за по лесно преминаване в абсолютна плътност е необходимо относителната плътност да се умножи по числото 10. Мерната единица се получава в човека/кв. метър (ч./м^2).



Фиг. 4. Абсолютна плътност

Стъпка 5: Определяне на необходимата ширина на тунелите (люковете) към променадата по графични данни:

Табл. 3. Определяне на сумарната ширина на люковете към променадата

Определяне на сумарната ширина на люковете към променадата						
трибуна	сектори	бр. места евакуиращи се през едни и същи люкове [бр.]	необходима препоръчителна ширина на люковете към променадата [0,80м / 100 човека] [м']	люкове [бр.]	предвидени широчини на люкове [м']	общо предвидени широчини на люкове [м']
Люкове (евакуационни изходи)						
" ТРИБУНА V "	от сектори 1/2 V01 +1/2V02+V 0102	164+192+49=405	3,24	1	3,40	17,00 м'
	от сектори 1/2 V02 +1/2V03+V 0203	192+165+49=406	3,25	1	3,40	
	от сектори 1/2 V03 +1/2V04+V 0304	185+185+30=400	3,20	1	3,40	
	от сектори 1/2 V04 +1/2V05+V 0405	192+165+49=406	3,25	1	3,40	
	от сектори 1/2 V05 +1/2V06+V 0506	164+192+49=405	3,24	1	3,40	
	Общо	2022	13,18 м'	5	17,00 м'	

Стъпка 6: Определяне на необходимата ширина на врати от трибуната към терена по графични данни:

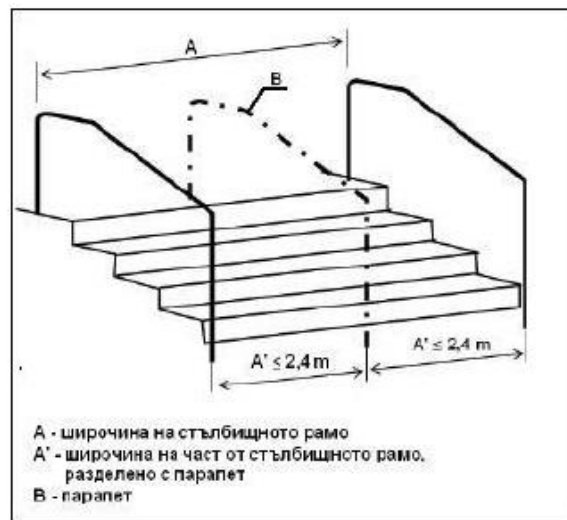
Табл. 4. Определяне на сумарната ширина на врати към терена

Определяне на сумарната ширина на врати към терена						общо предвидени широчини на люкове [м']
трибуна	сектор	бр. места евакуиращи се през едни и същи вратички [бр.]	необходима препоръчителна ширина на [0,80м / 100 човека] [м']	врати към терена [бр.]	предвидени широчини на врати към терена [м']	
Врати към терена (евакуационни изходи)						14,00 м'
" ТРИБУНА V "	V01	244	1,95	1	2,00	
	V01/ V02	189	0,86	1	2,00	
	V02/ V03	216	0,86	1	2,00	
	V03/ V04	216	0,86	1	2,00	
	V04/V05	216	0,86	1	2,00	
	V05/ V06	189	0,86	1	2,00	
	V06	244	1,95	1	2,00	
	Общо	1514	8,20 м'	7	14,00 м'	

Стъпка 7: Определяне полезната площ на Променада и необходимата ширина на стълби (евакуационни изходи):

Табл. 5. Определяне полезната площ на променада и необходимата широчина на стълби

Площ на променадата [м ²]	Изчислена плътност [човека/м ²]	Общ брой на хората в Променада и евакуиращи се през едни и същи стълби, врати [бр.]	Необходима препоръч. широчина на изходите [0,80м / 100 човека]	Стълби, врати [бр.]	Предвидени широчини на стълбите [м']	Общо предвидени широчини на стълбите [м']
1050,00	2,00	2100	16,80	3	6,10	22,05м'
				1	2,40	
				1	1,35	
Всичко:			16,80		22,05	



Фиг. 5. Необходима широчина на стълби

Стъпка 8: Определяне на скоростта на движение на човешкия поток:

Скоростта на движение на човешкия поток представлява отношението между дължината на участъка от пътя, изминат при определена плътност:

$$V = \frac{L}{T}, \text{ където} \quad (6)$$

L-дължината на евакуационния път, (м)

T-времето за движение по съответния участък.

Опитно е установена скоростта на свободно движение на човешкия поток при различна категория на движение [1].

Табл. 6. *Скорост на свободно движение*

Категория движение	Скорост на свободно движение в зависимост от вида на участъка (m/min)	
	Хоризонтално движени, по стълби надолу, през проход	По стълби нагоре
Комфортно	< 49,0	< 27,0
Спокойно	49,0 – 66,0	27,0 – 38,0
Активно	66,0 – 90,0	38,0 – 55,0
Повишена активност	90,0 – 120	55,0 – 75,0

Увеличената психологическа стресова ситуация в случай на кризисна ситуация предопределя категория на движение в режим „повишена активност“, като интервал на очакваните скорости на движение потока. Анализ на процеса евакуация и учебна евакуация на различни сгради и съоръжения са показали, че с достатъчна точност скоростта на свободно движение V е равна 100 m/min, за движение по хоризонтален участък, отвори, проходи и надолу по стълбища и на 60 m/min при движение по стълбища нагоре.

**Фиг. 6.** *Скорост на движение при различните участъци*

От графиката се вижда, че когато човешкият поток при плътност 0-0,4 м²/м² (4 чов./м²), се движи по стълби надолу, скоростта е по-висока от при движение по хоризонтален път. Това се дължи на факта, че когато потокът се движи по стълби надолу в този диапазон на плътността, следващата стъпка е свободна от лицето отпред. В тези граници, скоростта на движение превишава скоростта на хоризонталните пътища, т.е. движение протича нормално и ритмично. При по-висока плътност се затруднява движението по стъпалата. Започва стъпване на всяка стъпало, а при по-голяма плътност се стъпва и с двата крака на стъпалото. Освен това хората спират да виждат и „усещат“ пътя, така че се движат предпазливо, опипват за ръба на стъпалото и се страхуват от падане. При плътност, по-голяма от 0,5 м²/м² (5 чов./ м²), скоростта на движение намалява. Скоростта на движението на стълбите нагоре е по-малка, отколкото в хоризонтални участъци и стълбите надолу, което се дължи на увеличаване разход на енергия. Въпреки това, когато плътността на потока е по-висока от 0,7 м²/м² (7 чов./ м²), скоростта е по-голяма от движението по стълби надолу. Това се дължи на факта, че когато се движи нагоре, потокът става по-малко опасен. При такива плътности хората, които вървят по стълбите, не виждат стъпките, страхуват се от падане и забавят

движението, когато потокът се движите нагоре, рискът от падане е много по-малък и хората се движат по-уверено и вследствие на това бързо.

Стъпка 9: Определяне на интензивността на движение (специфична пропускателна способност):

Интензивност на движение – Този параметър на движението на човешки поток при евакуация се получава като плътността на човешкия поток се умножи със скоростта на движение. Тъй като плътността се измерва в два възможни варианта – относителна и абсолютна, затова се получават два израза за едно и също значение на параметъра.

Интензивността на движение, показва броя на хората, които преминават за единица време през един метър ширина на участъка.

При умножение на абсолютната плътност със скоростта на движение се получава:

$$q_a = D_A \cdot V = \frac{\text{чов}}{m^2} \cdot \frac{m}{\text{min}} = \frac{\text{чов}}{m \cdot \text{min}}, \text{ където:} \quad (7)$$

q_a – интензивност на движение при абсолютна плътност (чов/m.min)

D_A – относителна плътност (чов/m²)

V – скорост на движение (m/min)

При умножение на относителна плътност със скоростта на движение се получава:

$$q_o = D_o \cdot V = \frac{m^2}{m^2} \cdot \frac{m}{\text{min}} = \frac{m^2}{m \cdot \text{min}} \text{ или } \frac{m}{\text{min}}, \text{ където:} \quad (8)$$

q_o – интензивност на движение при относителна плътност (m²/m.min)

D_o – относителна плътност (m²/m²)

V – скорост на движение (m/min)

Разликата в двата израза на параметъра се състои в специфичната площ на хоризонталната проекция на човека. При интензивност на движение с абсолютна плътност броят на хората е изразен в абсолютни единици, а при интензивността на движение с относителна плътност, същият е изразен чрез площта, която заемат. Тъй като $f = 0,126 \text{ m}^2/\text{чов.}$, ако умножим интензивността на движение при абсолютна плътност с 10, ще получим интензивността на движение при относителна плътност. От дименсията се вижда, че този параметър показва колко човека преминават през един линеен метър от широчината на евакуационния участък за единица време.

Величините по стъпки 7, 8 са експериментално получени от многобройни опити.

Представените в настоящата работа модели доказват както влиянието на геометричните показатели на евакуационните пътища както върху евакуацията на хора от сгради и съоръжения, така и върху концепциите по отношение на решенията, които взема ръководителят на място при пожарогасене и спасителни дейности, представени детайлно в [3].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От изследването се установява, че разработването на специални технически решения по отношение на осигуряването на евакуацията от спортните сгради и съоръжения у нас, следва да се анализират както положителните, така и отрицателните

аспекти на проектирането, изграждането и експлоатацията на съоръженията. Резултатите следва да се подложат открито на широки експертни и обществени обсъждания на конференции, бизнес срещи, кръгли маси и предоставени на широк кръг специалисти.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Guide to Safety at Sports Grounds, 2008. Published with the permission of the Department for Culture, Media and Sport on behalf of the Controller of Her Majesty's Stationery Office,
- [2] Ordinance з Iz-1971 of 29.10.2009 on construction and technical rules and norms for ensuring fire safety. (Наредба № Из-1971 от 29.10.2009 г. за строително-технически правила и норми за осигуряване на безопасност при пожар). Обн. ДВ, бр. 96 от 04.12.2009 г., в сила от 04.06.2010 г.; попр. ДВ, бр. 17 от 02.03.2010 г.; посл. изм. и доп. ДВ, бр. 63 от 31.07.2018 г.
- [3] Prodanov H, 2020, Decision-making during firefighting and rescue operations, Proceedings from international conference "Actual security problems", NDU "Vasil Levski", Veliko Tarnovo, 135-145, ISSN 2367-7465 (Проданов, Х., 2020, Вземане на решения при пожарогасене и спасителни действия, Сборник доклади от Научна конференция „Актуални проблеми на сигурността“ – Том 5, НВУ „Васил Левски“, Велико Търново, 135-145, ISSN 2367-7465)