

УДК 614.841.33

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ СМЕШАННЫХ ЛЮДСКИХ ПОТОКОВ В ПОМЕЩЕНИЯХ С МАССОВЫМ ПРЕБЫВАНИЕМ ЛЮДЕЙ ЗАЛЬНОГО ТИПА

Дмитриченко А.С., к.т.н., доцент, Полевода И.И., к.т.н., Полоз Д.А.

*Статья посвящена расчету зависимостей «скорость – плотность», «интенсивность – плотность», «интенсивность – скорость», характерных для смешанных людских потоков в помещениях с массовым пребыванием людей зального типа. Распределение представителей различных групп людей в смешанных людских потоках производилось на основании статистических данных о половозрастной структуре населения Республики Беларусь. Полученные зависимости пригодны для проведения вычислений расчетного времени вынужденной эвакуации из различных помещений с массовым пребыванием людей зального типа по методике ГОСТ 12.1.004-91.*

(Поступила в редакцию 17 декабря 2007 г.)

Как правило, в помещениях с массовым пребыванием людей зального типа преобладают смешанные людские потоки [1]. В их состав входят люди, отличающиеся друг от друга своими антропометрическими данными, возрастом и уровнем физической подготовки. Наличие у некоторых людей схожих индивидуальных особенностей позволяет объединять их в специальные условные группы. Отличительной чертой каждой группы людей является присутствие характерных для нее расчетных зависимостей («скорость – плотность», «интенсивность – плотность», «интенсивность – скорость»).

В смешанном людском потоке каждая группа людей представлена их некоторым количеством. При этом при одних и тех же значениях плотности смешанного людского потока представители разных групп людей движутся в нем с различными скоростями. Таким образом, расчетная зависимость «скорость – плотность» для смешанного людского потока находится в непосредственной связи с аналогичными расчетными зависимостями имеющихся в нем представителей различных групп людей [2].

Данная ситуация распространяется и на расчетные зависимости между оставшимися параметрами смешанного людского потока. При этом способ учета его неоднородности на данный момент до конца не определен, не проработан и механизм перехода от индивидуальных параметров определенных групп людей к одной общей расчетной зависимости.

В связи с этим определение общих, причем сразу для нескольких групп людей, расчетных зависимостей, которые учитывают неоднородность смешанного людского потока, является достаточно актуальной задачей. Ее решение позволит для определения расчетного времени вынужденной эвакуации людей, движущихся в составе смешанного людского потока, использовать стандартную методику ГОСТ 12.1.004-91 [3].

Для решения данной задачи в зданиях и сооружениях, имеющих в своем составе помещения с массовым пребыванием людей зального типа, проведен ряд серий натурных наблюдений [2]. Результатом данных исследований стали объективные данные о процессе движения смешанных людских потоков. Изучение и анализ полученных в ходе натурных наблюдений данных способствовало выделению следующих условных групп людей [2, 4]:

- группа Г1 – дети дошкольного возраста, школьники младших классов в возрасте от 5 до 9 лет;
- группа Г2 – школьники средних классов в возрасте от 10 до 14 лет;
- группа Г3 – школьники старших классов, учащиеся профессионально-технических училищ, техникумов и колледжей в возрасте от 15 до 19 лет;

- группа Г4 – взрослые люди в возрасте от 20 до 65 лет;
- группа Г5 – взрослые люди в возрасте от 20 до 65 лет, ведущие детей за руку либо несущие их на руках.

Выделение данных условных групп людей производилось по принципу, предложенному в статье [5], согласно которому объединение людей различного возраста в группы происходит при наличии у них одинаковых значений средней площади горизонтальной проекции человека  $f$ , м<sup>2</sup> [4]:

- для представителей группы Г1 – 0,04;
- для представителей группы Г2 – 0,06;
- для представителей группы Г3 – 0,08;
- для представителей группы Г4 – 0,10;
- для представителей группы Г5 – 0,20.

Приведенные значения средней площади горизонтальной проекции человека характерны для учреждений культурно-зрелищного типа, в которых имеются гардеробы, где люди могут оставлять свою верхнюю одежду в осенний, зимний и весенний периоды. В случае отсутствия гардеробов, например в кинотеатрах, соответствующие значения средней площади горизонтальной проекции человека  $f$  в осенний и весенний периоды увеличиваются в 1,13 раза, в зимний период – в 1,25 раза [6, 7].

Дальнейшая обработка результатов натурных наблюдений производилась по методике, предложенной В.В. Холщевниковым [1, 2, 8]. Эта обработка позволила установить расчетные зависимости «скорость – плотность» для перечисленных условных групп людей и различных видов пути (горизонтальный путь, лестница вниз, лестница вверх). Отмеченные расчетные зависимости определялись по формуле [8]:

$$V_{D,j} = V_0 \cdot \left( 1 - a_j \cdot \ln \left( \frac{D_i}{D_{0,j}} \right) \right), \quad (1)$$

где  $V_{D,j}$  – значение скорости движения людского потока по  $j$ -му виду пути при плотности людского потока  $D_i$ , м/мин;

$V_0$  – значение максимальной скорости свободного движения людского потока, м/мин;

$a_j$  – эмпирический коэффициент, показывающий интенсивность воздействия плотности людского потока на его скорость по  $j$ -му виду пути;

$D_i$  – значение плотности людского потока, при котором определяется его скорость, м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>;

$D_{0,j}$  – пороговое значение плотности людского потока для  $j$ -го вида пути, по достижении которого она начинает восприниматься людьми как воздействующий на скорость их движения фактор, м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>.

Необходимые для формулы (1) значения коэффициента  $a_j$ , скорости  $V_0$  и плотности  $D_{0,j}$  приведены в таблице 1 [2, 4].

Таблица 1 – Значения коэффициента  $a_j$ , скорости  $V_0$  и плотности  $D_{0,j}$  для различных групп людей и видов пути

Группа людей	Вид пути								
	горизонтальный путь			лестница вверх			лестница вниз		
	$a_j$	$D_{0,j},$ м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup>	$V_0,$ м/мин	$a_j$	$D_{0,j},$ м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup>	$V_0,$ м/мин	$a_j$	$D_{0,j},$ м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup>	$V_0,$ м/мин
Г1	0,287	0,052	89,3	0,292	0,058	64,3	0,341	0,065	89,3
Г2	0,284	0,051	92,6	0,289	0,057	65,9	0,338	0,064	92,6
Г3	0,286	0,051	85,9	0,296	0,058	62,5	0,343	0,065	85,9
Г4	0,290	0,052	83,7	0,299	0,058	60,9	0,346	0,065	83,7
Г5	0,289	0,051	81,4	0,300	0,057	58,5	0,347	0,064	81,4

Расчетные зависимости «скорость – плотность» для выделенных групп людей и различных видов пути отображены на рисунках 1а–1в. Анализ рисунков показывает, что быстрее всех движутся представители группы Г2, медленнее всех – представители группы Г5 [2].

В связи с отсутствием сведений о процентном соотношении представителей данных групп людей было принято решение за основу их распределения взять данные о половозрастной структуре населения Республики Беларусь, приведенные в таблице 2 [9].

Таблица 2 – Распределение людей по группам с учетом данных Министерства статистики и анализа Республики Беларусь

Группа людей	Численность представителей, чел.	Коэффициент весомости, $\omega_i$
Г1	454 462	0,0237
Г2	539 310	0,0423
Г3	749 816	0,0783
Г4	5 650 814	0,7381
Г5	450 025	0,1176

Для перехода от индивидуальных расчетных зависимостей «скорость – плотность», характерных для каждой группы людей, к общей расчетной зависимости, описывающей процесс движения всего смешанного людского потока, использовался коэффициент весомости  $\omega_i$  представителей каждой  $i$ -й группы людей.

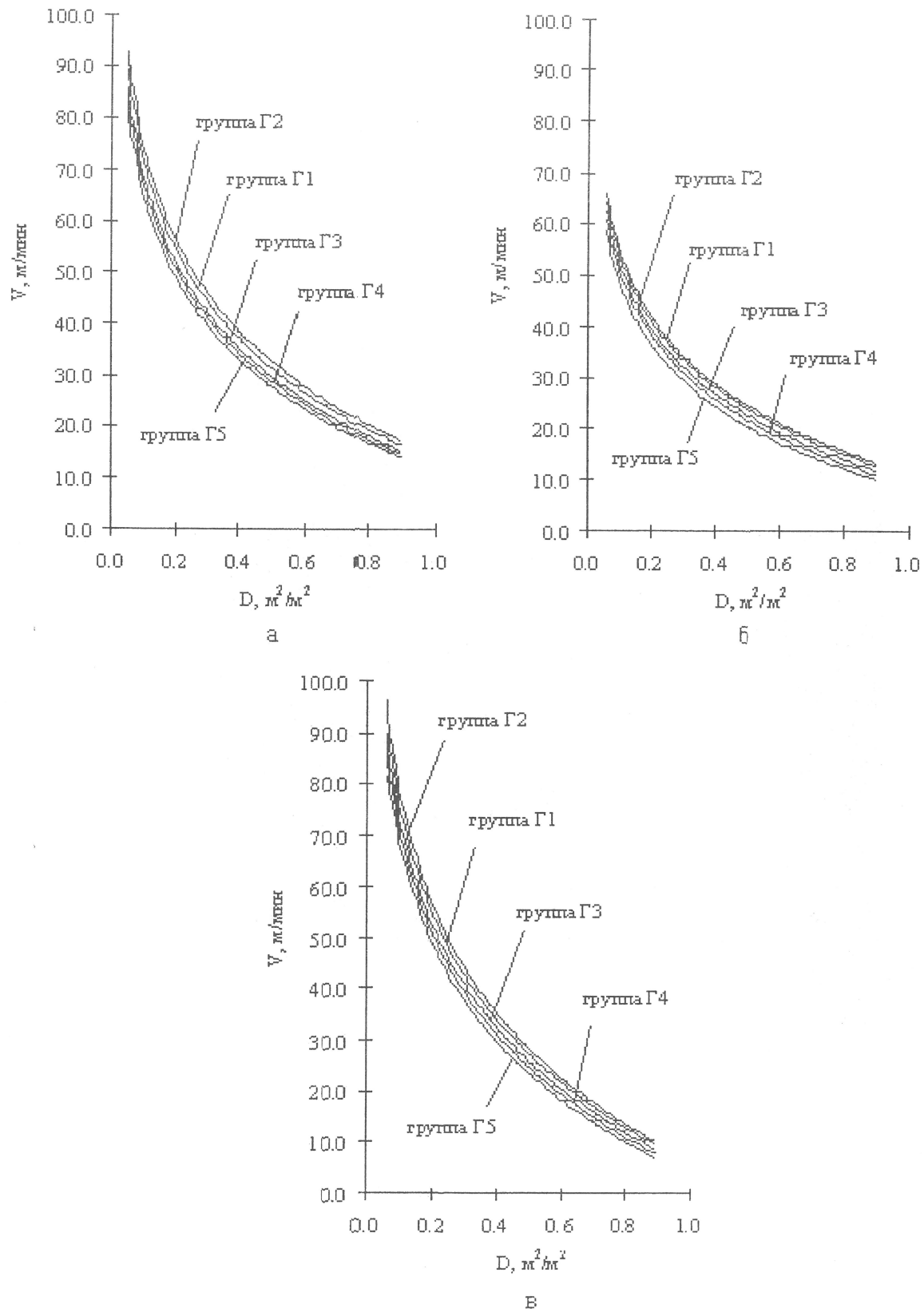
Численное значение коэффициента весомости  $\omega_i$  для представителей каждой  $i$ -й группы людей, движущихся в составе смешанного людского потока, определялось по формуле:

$$\omega_i = \frac{N_i \cdot f_i}{\sum_{i=1}^n N_i \cdot f_i}, \quad (2)$$

где  $N_i$  – число людей – представителей  $i$ -й группы, чел.;

$f_i$  – значение средней площади горизонтальной проекции человека – представителя  $i$ -й группы, м<sup>2</sup>.

Результаты вычисления коэффициента весомости  $\omega_i$  для представителей всех выделенных групп людей приведены в таблице 2.



а – горизонтальный путь; б – лестница вверх; в – лестница вниз

Рисунок 1 – Расчетные зависимости «скорость – плотность» для различных групп людей и видов пути

Преобразование значений коэффициента  $a_j$ , скорости  $V_0$  и плотности  $D_{0,j}$  для различных групп людей и видов пути применительно к смешанным людским потокам происходило по формулам:

$$a_j = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot a_{j,i}, \quad (3)$$

$$D_{0,j} = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot D_{0,i,j}, \quad (4)$$

$$V_0 = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot V_{0,i}, \quad (5)$$

где  $a_{j,i}$  – эмпирический коэффициент, показывающий интенсивность воздействия плотности людского потока на скорость движения представителей  $i$ -й группы людей по  $j$ -му виду пути;

$D_{0,j,i}$  – пороговое значение плотности людского потока для  $j$ -го вида пути, по достижении которого она начинает восприниматься людьми  $i$ -й группы как воздействующий на скорость их движения фактор,  $\text{м}^2/\text{м}^2$ ;

$V_0$  – значение максимальной скорости свободного движения представителей  $i$ -й группы людей,  $\text{м}/\text{мин}$ .

Результаты вычислений по формулам (3) – (5) сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Значения коэффициента  $a_j$ , скорости  $V_0$  и плотности  $D_{0,j}$  для смешанного людского потока и видов пути

Вид пути	$a_j$	$D_{0,j}, \text{м}^2/\text{м}^2$	$V_0, \text{м}/\text{мин}$
Горизонтальный	0,289	0,052	84,1
Дверной проем	0,289	0,057	84,1
Лестница вниз	0,345	0,065	84,1
Лестница вверх	0,298	0,058	61,0

Значение средней площади горизонтальной проекции человека  $f, \text{м}^2$ , движущегося в составе смешанного людского потока, определялось по формуле:

$$f = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot f_i. \quad (6)$$

В результате среднее значение площади горизонтальной проекции человека  $f$ ,  $m^2$  в помещении с массовым пребыванием людей зального типа составило для человека:

- в летней одежде – 0,098;
- в демисезонной одежде – 0,11;
- в зимней одежде – 0,122.

Графически расчетная зависимость «скорость – плотность», характерная для смешанных людских потоков, движущихся по различным видам пути, приведена на рисунке 2. Параллельно с ней отображена аналогичная расчетная зависимость ГОСТ 12.1.004-91 [3].

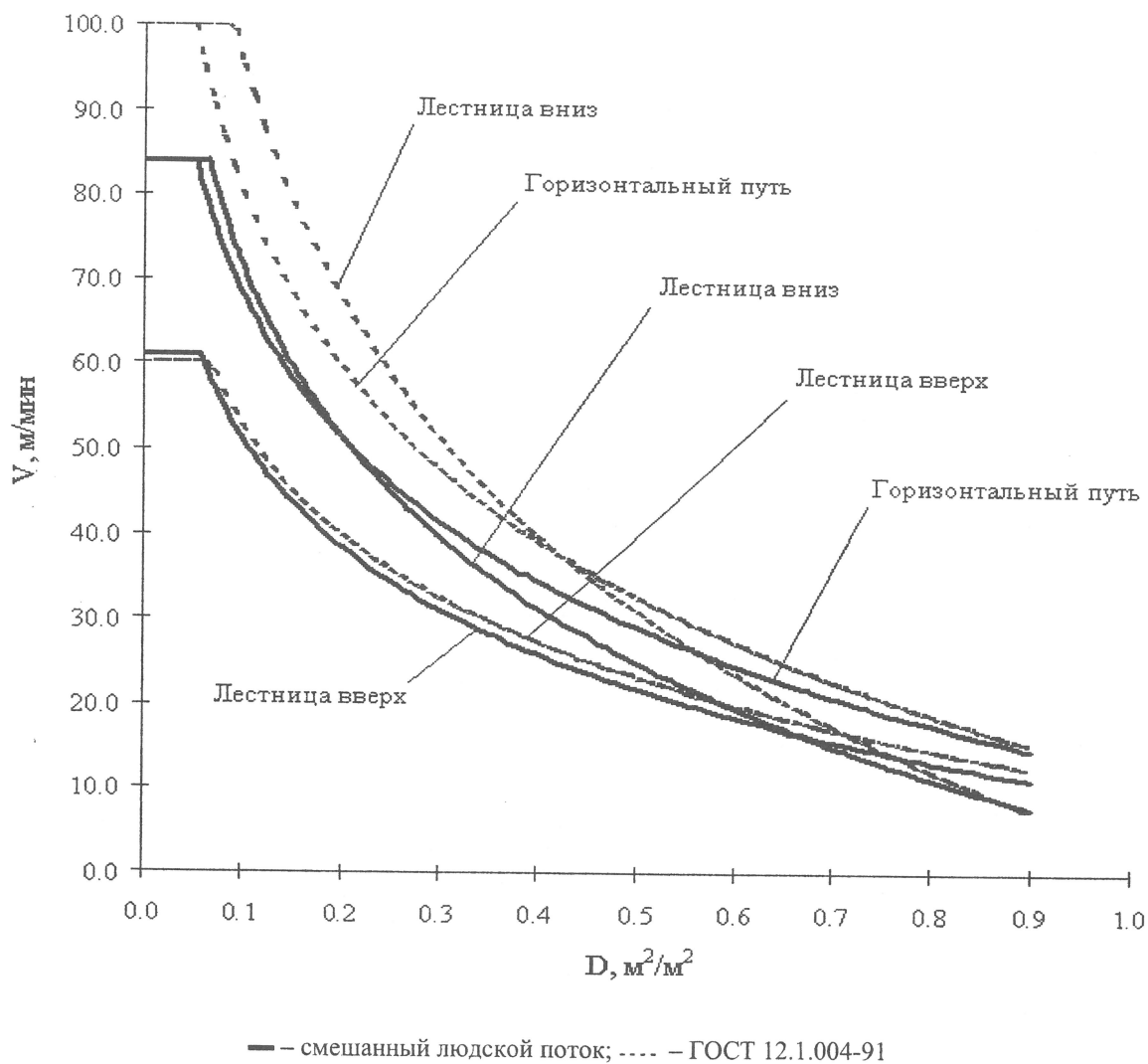


Рисунок 2 – Расчетная зависимость «скорость – плотность» для разных видов пути

Анализ рисунка 2 показывает, что расчетные зависимости «скорость – плотность» для смешанного людского потока для таких видов путей, как горизонтальный и лестница вниз, лежат ниже соответствующих расчетных зависимостей ГОСТ 12.1.004-91 [3]. Это объясняется тем, что в помещениях с массовым пребыванием людей зального типа по данным видам пути люди движутся с меньшими скоростями, чем в остальных помещениях, зданиях и сооружениях. Расчетные зависимости «скорость – плотность» для лестницы вверх практически не отличаются.

Вычисление расчетной зависимости «интенсивность – плотность» производится по формуле [1, 6–8]:

$$q_{D,j} = V_{D,j} \cdot D_i \quad (7)$$

Результаты вычислений по формуле (7) приведены на рисунке 3.

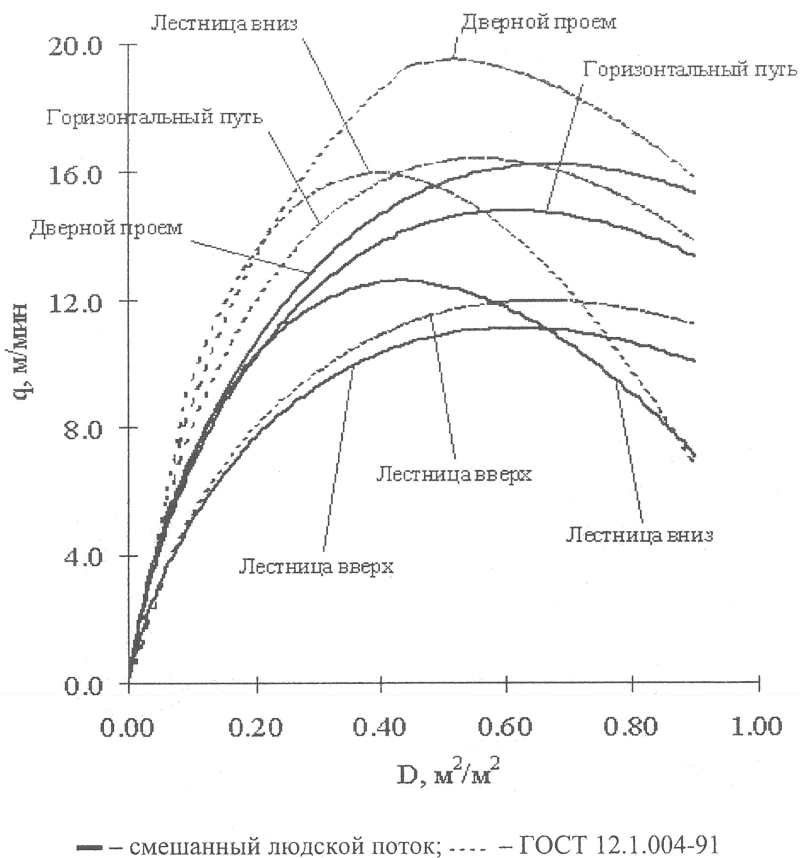


Рисунок 3 – Расчетная зависимость «интенсивность – плотность» для разных видов пути

Расчетная зависимость «интенсивность – скорость» приведена в таблице 4. Она получена на основании формулы (7) с учетом того, что данные параметры смешанного людского потока являются прямо пропорциональными друг другу величинами.

Таблица 4 – Расчетная зависимость «интенсивность – скорость»

Интенсивность $q$ , м/мин	Скорость $V$ , м/мин		
	Горизонтальный путь	Лестница вниз	Лестница вверх
$\leq 3,54$	84,10	84,10	61,00
4,37	84,10	84,10	55,41
5,47	76,29	84,10	49,17
7,00	67,23	72,73	41,67
8,00	62,02	66,05	37,14
9,00	57,18	59,66	32,68
10,00	52,61	53,38	27,9
11,12	47,59	45,96	18,28
12,00	43,62	38,96	—
12,59	40,83	29,09	—
14,00	33,30	—	—
14,80	24,26	—	—

Полученные расчетные зависимости «скорость – плотность», «скорость – интенсивность», «интенсивность – скорость» позволяют более объективно и точно производить вычисления величины расчетного времени вынужденной эвакуации из помещений с массовым пребыванием людей зального типа с учетом неоднородности образующихся смешанных людских потоков. Отличительной чертой результатов расчета, осуществляемых с использованием приведенных в статье данных, является то, что величина расчетного времени вынужденной эвакуации получается несколько меньшей, чем при использовании аналогичных зависимостей ГОСТ 12.1.004-91 [3]. Это заставляет обратить особое внимание на обеспечение пожарной безопасности находящихся в данных помещениях людей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Холщевников, В.В. Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов: дис. ... д-ра техн. наук / В.В. Холщевников. – М.: МИСИ, 1983. – 425 л.
2. Дмитриченко, А.С. Исследование параметров смешанных людских потоков в помещениях с массовым пребыванием людей / А.С. Дмитриченко, Д.А. Полоз // Вестн. Командно-инженер. ин-та МЧС Респ. Беларусь. – 2007. – № 2. – С. 88–97.
3. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования: ГОСТ 12.1.004-91. – Введ. 01.07.92. – М.: Ком. стандартизации и метрологии СССР: Изд-во стандартов, 1992. – 78 с.
4. Дмитриченко, А.С. Дифференцированная методика определения расчетного времени вынужденной эвакуации людей из помещений с массовым пребыванием людей / А.С. Дмитриченко, С.Л. Соболевский, Д.А. Полоз // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2007. – № 2. – С. 107–121.
5. Холщевников, В.В. Нормирование путей эвакуации в учебных заведениях / В.В. Холщевников // Пожарное дело. – 1980. – № 12. – С. 26–29.
6. Предтеченский, В.М. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков: учеб. пособие для вузов / В.М. Предтеченский, А.И. Милинский. – 2-е изд. – М.: Стройиздат, 1979. – 375 с.
7. Ройтман, М.Я. Основы противопожарного нормирования в строительстве / М.Я. Ройтман. – М., 1969. – 224 с.
8. Холщевников, В.В. Исследование людских потоков и методология нормирования эвакуации людей из зданий при пожаре / В.В. Холщевников – М.: МИПБ МВД России, 1999. – 93 с.
9. Половозрастная структура населения Республики Беларусь и областей на 1 января 2007 года и среднегодовая численность населения за 2006 год / М-во статистики и анализа Респ. Беларусь. – Минск, 2007. – 76 с.