

Функция уязвимости человека с учетом продолжительности действия поражающего фактора

В. А. Акатьев^{*,1}, И. И. Зенцов^{**}

** Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана,
Москва, Россия*

*** Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской
обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России (Федеральный центр науки и высоких
технологий), Москва, Россия*

Аннотация

В статье приведены результаты исследований по обоснованию функций уязвимости человека в легкой одежде и без средств индивидуальной защиты, подвергнутого воздействию тепловых потоков и (или) температур воздуха. В качестве опытных данных приняты опубликованные параметры тепловых воздействий, приводящие к поражениям незащищенного человека при различных экспозициях. Имеющиеся методы оценки уязвимости человека от воздействия тепловых полей при их использовании дают большие расхождения при их сравнении с опытными данными, особенно при начальных и конечных значениях временных экспозиций, а также при низких и высоких значениях поражающего фактора. Так, при низких значениях тепловых потоков длительность их воздействия на степень поражения человека слабо влияет и, наоборот, при высоких значениях плотности теплового потока влияние длительности воздействия многократно повышается. В этой связи проблема обоснования функций тепловой (температурной) уязвимости человека при широком диапазоне интенсивностей поражающих факторов и временных экспозиций является актуальной.

В работе получены функции уязвимости человека в условиях воздействия на человека тепловых потоков и температуры газовой среды, окружающей человека, позволяющие оценить поражение человека без защитных средств с вероятностью 0%, 50% и 100%. Проверка результатов расчетов с использованием полученных математических зависимостей показала высокую степень сходимости с результатами известных экспериментальных данных.

Ключевые слова

Риск, тепловое воздействие, уязвимость человека, поражение человека, временная экспозиция

¹ Для переписки

E-mail: akatevva@bmstu.ru

Введение. Количественная оценка риска математически представляет собой произведение опасности и уязвимости. Под опасностью понимают частоту возникновения негативных физических полей.

Если речь идет о тепловых полях, то встает проблема учета не только изменяющихся плотности теплового потока и температуры, но и времени их действия с момента возникновения. Длительность действия излучения зависит от длительности пожара, распределения плотностей теплового излучения в пространстве, местонахождения человека в момент пожара и скорости эвакуации человека из опасной зоны. В общем случае длительность воздействия может лежать в очень широких пределах — от нескольких секунд при огненном шаре (Blive) до нескольких часов при пожарах в резервуарных парках и на нефтепроводах. Наиболее опасными сценариями теплового воздействия являются воздействия от огненного шара при горении газозооных смесей, отличающихся мощными плотностями теплового излучения в течение короткого времени.

Уязвимость незащищенного человека в условиях воздействия на него теплового потока и температуры зависит и от времени действия указанных факторов. Произведение интенсивности поражающего фактора на временную экспозицию её действия не является характеристикой степени поражения человека. Так, при низких значениях тепловых потоков длительность их воздействия слабо влияет на степень поражения и наоборот, при высоких значениях плотности теплового потока длительность воздействия сильно влияет на степень поражения человека.

В этой связи необходима разработка моделей для получения функций уязвимости человека в условиях воздействия на человека тепловых потоков и температуры газовой среды, окружающей человека.

Модель риска. Понятия «риск» и «опасность» до 1972 года воспринимались как синонимы. Их разделение впервые было осуществлено в 1972 г. на VI Европейском конгрессе по сейсмическому строительству [1]. С этого момента под опасностью начали понимать физические поля с поражающими факторами, под уязвимостью — вероятность потерь (гибели, ущерба здоровью и окружающей среде) от воздействия поражающих факторов, а под риском — негативные последствия для человека и окружающей среды от рассматриваемой чрезвычайной ситуации (ЧС) за определенное время. В 1977 году было дано классическое определение риска. Под риском стали понимать «вероятностные потери» от рассматриваемой аварии за определенное время [2].

Модель риска, соответствующая мировой практике, была принята и в России [3] (рисунок 1).

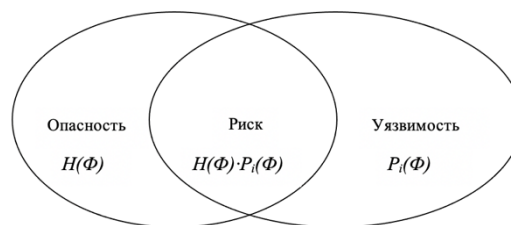


Рисунок 1 — Модель риска по А. Л. Рогозину

$H(\Phi)$ — частота возникновения опасности определенной интенсивности Φ ;

$P_i(\Phi)$ — вероятность поражения i -го реципиента риска от опасности Φ ;

$H(\Phi) \cdot P_i(\Phi)$ — риск определенных негативных последствий i -го реципиента риска, обусловленный интенсивностью Φ опасности.

Риск — это результат пересечения двух событий для реципиента риска: возникновения для него опасности интенсивностью Φ за определённый период и определенных негативных потерь от возникшей опасности интенсивностью Φ [3]. Следовательно, под риском понимается частота $H(\Phi) \cdot P_i(\Phi)$ определенных негативных потерь для i -го реципиента риска.

Опасность характеризуется частотой H возникновения поражающего фактора и его интенсивностью Φ , а уязвимость — вероятностью потерь (гибели, ущерба здоровью и окружающей среде) от воздействия интенсивности Φ .

При количественной оценке риска сопротивление материальных объектов (реципиентов риска) воздействию негативных факторов описывается функцией уязвимости [3, 4].

Уязвимость человека в условиях действия негативного фактора

Уязвимость человека носит ярко выраженный вероятностный характер, поскольку для человека случайными являются его местонахождение в момент аварии, уровень здоровья, для зданий и оборудования — качество их проектирования, строительства, изготовления комплектующих, эксплуатации, обслуживания, ремонта и др.

Уязвимость реципиента (здания, оборудования и человека) в общем виде рассматривается относительно интенсивности Φ некоторого поражающего фактора. Функция уязвимости реципиента риска может иметь несколько степеней поражения ($i=1, 2, \dots, n$), описывается двумя различными семействами функций распределения — вероятностями не менее определенной $P_{\geq i}(\Phi)$ или определенной $P_i(\Phi)$ степени их поражения [5, 6] (рисунок 2).

Для описания функции уязвимости во многих случаях применяется нормальный закон распределения вероятности, распределение Гаусса, описываемый функцией, имеющей вид [7].

$$P_{\geq i}(\Phi) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} \int_0^{\Phi} e^{-\frac{(\Phi - M_i)^2}{2\sigma_i^2}} d\Phi, \quad (1)$$

где M_i , σ_i — числовые параметры функции распределения.

Вероятности i -й степени поражения объекта риска определяются разностью [5, 6]

$$P_i(\Phi) = P_{\geq i}(\Phi) - P_{\geq (i+1)}(\Phi) \quad (2)$$

где $P_{\geq i}(\Phi)$; $P_{\geq (i+1)}(\Phi)$ — вероятности соответственно не менее i -й, $(i+1)$ -й степени поражения объекта.

Степень поражения людей, находящихся в здании, зависит от степени поражения здания, поэтому вероятность поражения человека представляется в виде суммы произведений вероятностей двух событий [6]

$$P(\Phi) = \sum_{i=1}^n P_i(\Phi) \cdot P(j|i), \quad (3)$$

где $P(\Phi)$ — вероятность поражения людей от воздействия Φ ; $P_i(\Phi)$ — вероятность i -й степени поражения здания от воздействия Φ ; $P(j|i)$ — вероятность j -й степени поражения людей в здании при условии i -й степени его поражения; n — число степеней поражения здания.

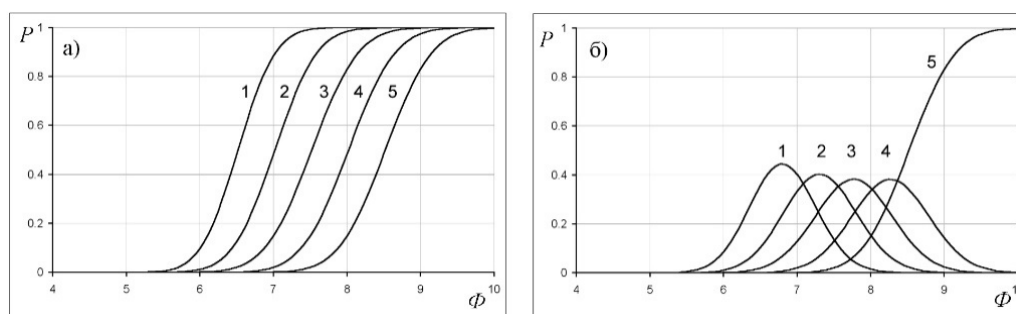


Рисунок 2 — Семейство функций уязвимости объекта риска от безразмерной интенсивности Φ поражающего фактора:

а — вероятности получения не менее определенных степеней поражения; б — вероятности получения определенных степеней поражения; $i = 1, 2, \dots, 5$

Функции уязвимости людей интенсивностью поражающего фактора Φ могут быть представлены графически (рисунок 3).

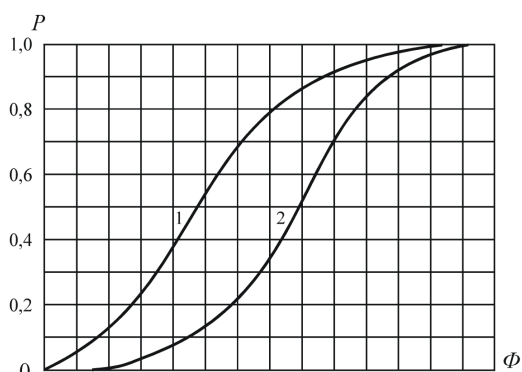


Рисунок 3 — Семейство функций уязвимости человека в здании от безразмерной интенсивности Φ поражающего фактора: 1 — вероятность общих потерь; 2 — вероятность безвозвратных потерь

Наиболее сложными являются зависимости степени поражения человека тепловым импульсом, поскольку трудно оценить одновременное действие двух изменяющихся аргументов — плотности теплового потока и временной экспозиции указанного действия [8, 9]. При этом применяется пробит-функция, как верхний предел интеграла функции Гаусса, отражающая связь между вероятностью поражения и импульсом.

Известны функции уязвимости вида $a + b \cdot \ln(c)$, полученные в результате исследований действия светового излучения ядерного оружия в прибрежной части США (1975 г.) [10, 11], однако они, различаясь между собой, дают результаты, имеющие значительные разбросы и погрешности при малых и больших длительностях воздействий, поэтому поиски более точных решений при оценке вероятностей поражения человека не потеряли своей актуальности.

Для оценки степени уязвимости человека интенсивностью Φ поражающего фактора используются такие показатели, как вероятности гибели (P) и сохранения

($Q=1-P$) человека, а также математическое ожидание $M(N)$ количества погибших людей.

Модель сопротивляемости человека высокой температуре окружающего воздуха

Тепловое равновесие организма человека при температуре более $33...37^{\circ}\text{C}$ поддерживается за счет интенсивного потоотделения, но оно чревато угрозой дегидратации (обезвоживания) организма. Так, потери воды за счет потоотделения при температуре окружающей среды 38°C в состоянии покоя человека достигают $0,3 \text{ кг/ч}$ [12].

При повышении температуры окружающего воздуха свыше 50°C самочувствие человека ухудшается и через некоторое время (в зависимости от возраста и здоровья человека) заканчивается тепловыми ударами.

Тепловой удар, как известно, характеризуется повышением температуры тела до $39...43^{\circ}\text{C}$ и является следствием недостаточности системы терморегуляции, водного и солевого истощения [12].

При тепловом ударе тяжелой формы температура тела может повыситься до $41...42^{\circ}\text{C}$ и наступить смертельный исход.

Предельно допустимые температуры в состоянии покоя переносятся организмом более продолжительное время.

При внезапном попадании человека в зону высокой температуры у него возникает период «возбуждения» с включением максимальной реакции теплоотдачи и увеличением рефлекторной возбудимости при прогрессирующем росте температуры тела. Вслед за этим замедляется дыхание и при температуре тела 43°C наступает смерть.

Безопасное время гарантирует сохранение температуры тела в пределах 37°C , учащение пульса до $80...114$ ударов в минуту и частоты дыхания до $20...22$ в

минуту с сохранением удовлетворительного самочувствия [13].

Предельно допустимое время предусматривает возможное повышение температуры тела до $38,5^{\circ}\text{C}$, увеличение частоты пульса до $120...130$ ударов в минуту и частоты дыхания — до $24...26$ в минуту. Могут возникнуть жалобы на плохое самочувствие [12].

Предельно возможное время пребывания в зоне экстремальных температур обусловлено достижением некоторыми физиологическими функциями организма критических значений: температуры тела $38,8^{\circ}\text{C}$ (не выше $39,5^{\circ}\text{C}$), частоты пульса и дыхания соответственно $130...150$ ударов в минуту и $26...28$ дыханий в минуту. Сама по себе высокая температура обладает гипоксическим действием, т. е. способствует снижению насыщения артериальной крови кислородом и приводит к эффекту комбинированного действия [13].

Представление экспериментальных данных о вероятностях поражения человека от температуры воздуха при различных экспозициях в виде функциональных зависимостей

Зависимости безопасной, предельно допустимой и предельно возможной

температуры воздуха от длительности её воздействия на человека в состоянии покоя можно представить в виде математических выражений (рисунок 4) [8]

$$t_{100}=70+130\exp(-0.03\tau); \quad (4)$$

$$t_{50}=55+100\exp(-0.03\tau); \quad (5)$$

$$t_0=40+70\exp(-0.03\tau), \quad (6)$$

где t_{100} , t_{50} , t_0 — верхние границы температурного интервала в градусах Цельсия, вызывающие гибель незащищенного человека с вероятностью, соответственно, 100%, 50% и 0%; τ — время пребывания человека при высокой температуре воздуха, мин.

В предположении, что вероятность поражения человека от воздействия высокой температуры воздуха при заданной экспозиции выражается нормальной функцией распределения, можно записать:

$$P = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}} dt, \quad (7)$$

где t — случайная величина — верхняя граница текущего температурного интервала, $^{\circ}\text{C}$; m — математическое ожидание случайной величины t , $^{\circ}\text{C}$; σ — среднеквадратическое отклонение случайной величины, $^{\circ}\text{C}$; P — вероятность гибели человека от воздействия температурного импульса.

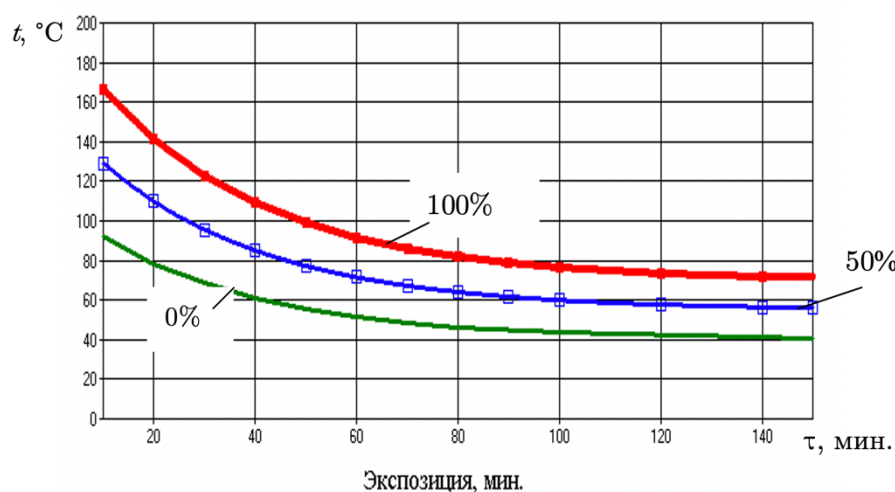


Рисунок 4 — Изолинии вероятности гибели незащищенного, находящегося в состоянии покоя человека от температуры

Математическое ожидание m и средне-квадратическое отклонение σ случайной величины t определяются как функции от экспозиции, при этом учитывается закон трех σ , по формулам [8]

$$m = \frac{t_{100} + t_0}{2} = 55 + \exp(-0.03\tau); \quad (8)$$

$$\sigma = \frac{t_{100} - t_0}{6} = 5 + 10 \exp(-0.03\tau). \quad (9)$$

С учетом полученных зависимостей определяются числовые значения нормальных функций распределения для различных длительностей температурного воздействия воздуха на человека (таблица 1).

Числовые значения функции нормального распределения поражающей

температуры позволяют вычислить значения интеграла (7) для всего интервала поражающих температур и построить графики функций распределения (рисунок 5) и плотностей распределения (рисунок 6) поражающих температур для заданных экспозиций $\tau = 30; 40; 50; 60$ и 80 мин.

Таблица 1

τ , мин.	30	40	50	60	80
t_{100}	123.4	109.5	99.6	91.3	81.8
t_0	68.8	61.5	55.8	52.4	46.8
m	96.1	85.7	77.5	52.4	46.8
σ	9.1	8.0	7.3	6.5	5.9

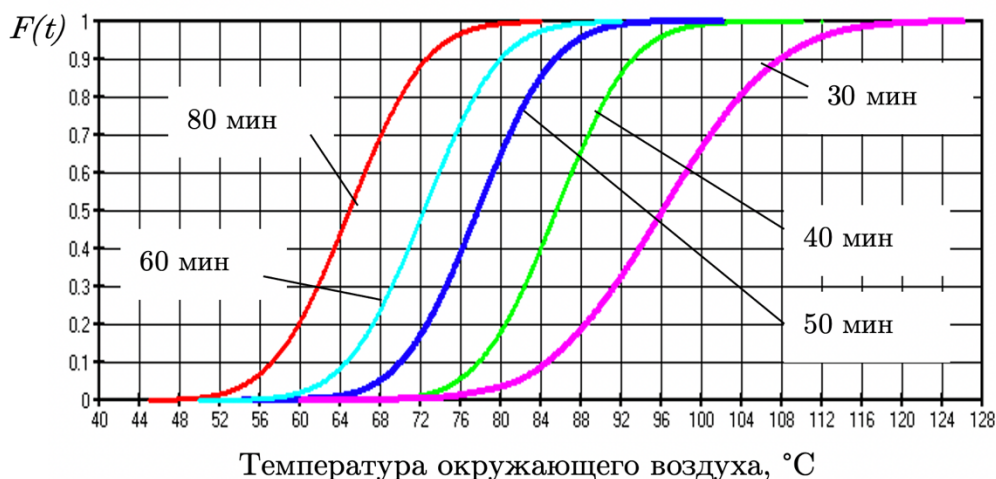


Рисунок 5 — Функции распределения вероятностей гибели людей в легкой одежде от воздействия температуры воздуха для экспозиций $\tau_{\text{эксп}}$

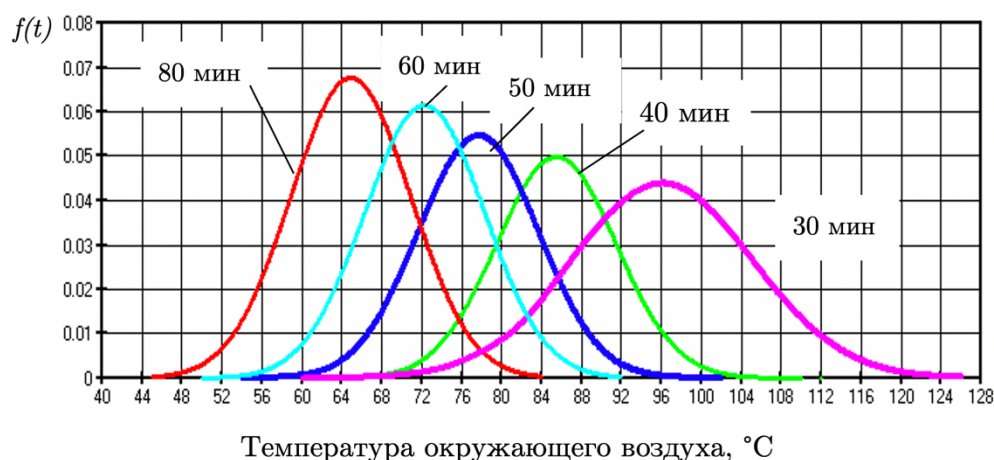


Рисунок 6 — Плотность распределения вероятностей гибели человека в легкой одежде от воздействия температуры воздуха для экспозиций $\tau_{\text{эксп}}$

Модель сопротивляемости человека воздействию теплового излучения

Следует различать ударное, импульсное и длительное воздействия теплового излучения. В двух первых случаях можно говорить об интенсивности и дозе излучения (случай «огненного шара»), в третьем случае — о критической плотности теплового излучения в зависимости от времени его воздействия.

Факел пламени (при пожарах разлива, огненных шарах, струйном горении) излучает инфракрасные, световые и ультрафиолетовые лучи. Длительность действия излучения на человека зависит от длительности пожара, распределения плотностей теплового излучения в пространстве, местонахождения человека в момент пожара и скорости эвакуации человека из опасной зоны. В общем случае длительность воздействия может лежать в очень широких пределах — от нескольких секунд при огненном шаре (Blive) до нескольких часов при пожарах в резервуарных парках и на нефтепроводах. Наиболее опасными сценариями термического

воздействия являются воздействия от огненного шара при горении газозооных смесей, отличающиеся мощными плотностями теплового излучения в течение короткого времени [8].

Величина плотности теплового излучения $q=1,4 \text{ кВт/м}^2$ принята в качестве длительно переносимой плотности теплового излучения здорового человека в легкой одежде.

Плотность теплового излучения, предельно переносимая из-за отчетливого ощущения ожога открытыми частями тела, называется предельно переносимой. Значения ее в зависимости от длительности воздействия известны [10, 14, 15, 16] (таблица 2).

Термическое воздействие с летальным исходом может быть ударным (за 1...3 с), если вероятность гибели определяется только величиной плотности теплового излучения, или импульсным (3...100 с), если летальный исход определяется импульсом энергии излучения [9].

Впервые функция дозы теплового поражения в виде произведения ($q\tau^{0,75}$) была приведена в докладе об исследовании действия ядерного взрыва [10].

Таблица 2 — Реакция человека на воздействие плотности теплового излучения

Реакция человека	Экспозиция, τ , с	q , кВт/м ²	Примечание
Летальный исход	40	10	[10]
Переносится	длительно	1,05 ... 1,26	[14]
Переносится	длительно	1,26	[15]
Не ощущается боли	длительно	1,7	[16]
Переносится	длительно	1,4	
Болевые ощущения	3	10,50	[15]
Появление ожогов-волдырей	10...20	10,5	
Болевые ощущения	10-20	4,20	
Ожоги второй степени	40	5	[16]
Ожоги первой степени	6...8	10,5	[14]
Ожоги второй степени	12...16	10,5	
Ожоги первой степени	15...20	7	
Ожоги второй степени	30...40	7	
Воспламенение хлопка-волокна	900	7	

Для вероятности смертельного поражения применяется логарифмическая зависимость:

Вероятность = $-14,9 + 2,56 \ln(\tau q^{4/3})$,
где τ — экспозиция, с; q — плотность теплового потока, кВт/м².

Изолинии вероятностей летального исхода незащищенного человека (в легкой одежде) от плотности теплового излучения (кВт/м²) при различных экспозициях, соответственно, с вероятностями 100%, 50% и 0%, могут быть представлены математическими зависимостями вида [8]:

$$q_{100} = 90(\tau + 1)^{-0.75} + 28 - 0.6\tau^{0.7}; \quad (10)$$

$$q_{50} = 85(\tau + 1)^{-0.75} + 14 - 0.3\tau^{0.7}; \quad (11)$$

$$q_0 = 80(\tau + 1)^{-0.75}. \quad (12)$$

Указанные выражения в диапазоне экспозиций 3...120 с хорошо согласуются со статистическими данными (рисунок 7).

Вероятность поражения человека тепловым потоком для заданной экспозиции выражается нормальной функцией распределения

$$P(q) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^q e^{-\frac{(q-m)^2}{2\sigma^2}} dq, \quad (13)$$

С учетом выражений для интервала поражающей плотности теплового потока q_{100} и q_0 математическое ожидание m и среднеквадратическое отклонение σ случайной величины q можно выразить в зависимости от экспозиции

$$m = \frac{q_{100} + q_0}{2} = 85(\tau + 1)^{-0.75} + 14 - 0.3\tau^{0.7} \quad (14)$$

$$\sigma = \frac{q_{100} - q_0}{6} = 28.3(\tau + 1)^{-0.75} + 4.7 - 0.1\tau^{0.7} \quad (15)$$

С учетом полученных зависимостей можно вычислить числовые значения нормальных функций распределения (таблица 3).

Значения функций и плотностей распределения поражающего теплового потока с заданными экспозициями теплового облучения даны (при $\sigma=1$) в таблице 4, а графики функций и плотностей распределения при заданных экспозициях представлены на рисунках 8, 9.

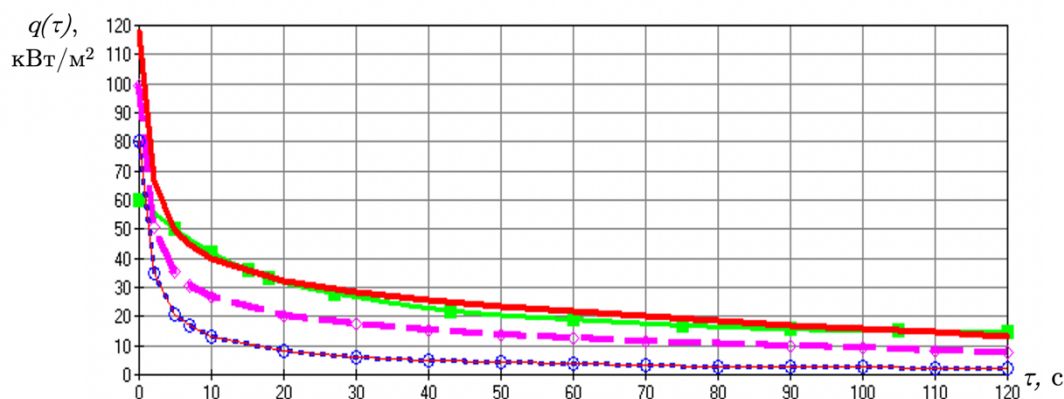


Рисунок 7 — Изолинии вероятностей летального исхода незащищенного человека от плотности теплового излучения при различных экспозициях:

— 100% (данные статистики); — 100%; - - - 50%;
— 0%; 0% (данные статистики)

Таблица 3

τ , с	5	10	20	30	40	50	60
σ , кВт/м ²	5,67	4,50	3,67	3,17	3,00	2,83	2,77
m , кВт/м ²	38	28,5	20	15,5	13	12	10,8
$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$	0,0704	0,0887	0,1088	0,1260	0,1330	0,1408	0,1442

Таблица 4

q, кВт/м ²	$\tau=5c$		$\tau=10c$		$\tau=20c$		$\tau=30c$		$\tau=60c$	
	F(t)	f(t)	F(t)	f(t)	F(t)	f(t)	F(t)	f(t)	F(t)	f(t)
2									0,0008	0,0025
4							0	0	0,0092	0,0194
6							0,0014	0,0044	0,0413	0,0893
8					0	0	0,0097	0,0224	0,1563	0,2396
10					0,0034	0,0099	0,0424	0,0893	0,3859	0,3825
12			0	0	0,0131	0,0371	0,1346	0,1626	0,668	0,3637
15			0,0014	0,0044	0,0862	0,1561	0,4396	0,3939	0,9354	0,1276
16			0,0032	0,0079	0,1360	0,2203	0,5600	0,3939	0,9699	0,0694
18					0,2929	0,3435	0,7850	0,2920	0,9955	0,0136
20	0	0	0,0301	0,0656	0,5000	0,3989	0,9222	0,1497	0,9996	0,0016
22	0,0024	0,0060			0,7071	0,3435	0,9797	0,0488	1	0
24	0,0075	0,0139	0,1587	0,2420	0,8630	0,2203	0,9960	0,0110		
26	0,0175	0,0422			0,9490	0,1561	1	0		
28	0,0390	0,0833	0,4562	0,3965	0,9855	0,0371				
30	0,0790	0,1476			0,9967	0,0099				
32	0,1449	0,2275	0,7800	0,3977	0,9986	0,0044				
34	0,2390	0,3101			1					
36	0,3620	0,3752	0,9522	0,1006						
38	0,5000	0,3989								
40	0,6370	0,3752	0,9944	0,0154						
42	0,7595	0,3101	0,9986	0,0044						
44	0,8550	0,2275	1	0						
46	0,9207	0,1497								
48	0,9612	0,0840								
50	0,9830	0,0440								
52	0,9930	0,0175								
54	0,9976	0,0079								
55	1	0,0044								

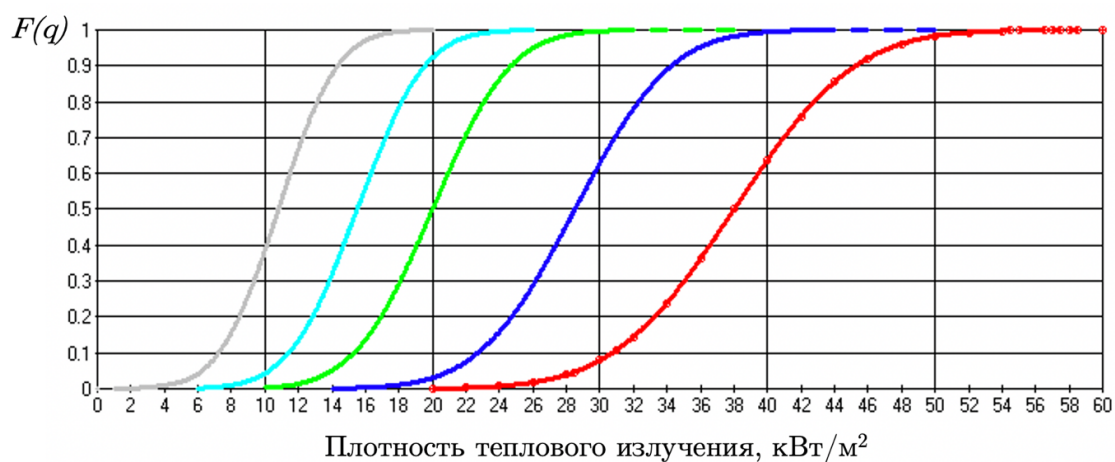


Рисунок 8 — Семейство функций распределения плотностей теплового излучения, вызывающих гибель человека, при следующих экспозициях:

— 60 с; — 30 с; — 20 с; — 10 с; — 5 с

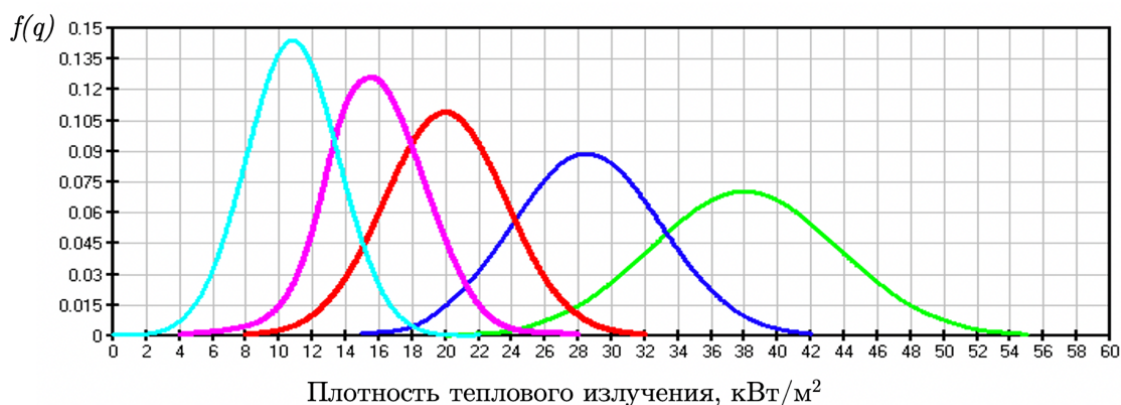


Рисунок 9 — Плотности вероятности теплового потока, вызывающего гибель человека, при различных экспозициях:

— 60 с; — 30 с; — 20 с; — 10 с; — 5 с

Сопротивляемость человека барическому воздействию

Величины избыточных давлений, вызывающих поражение человека при прямом его воздействии, известны (таблица 5).

Таблица 5

Реакция человека	Избыточное давление, кПа
Летальный исход с вероятностью 100%	500...800
Летальный исход с вероятностью 50%	350...500
Летальный исход с вероятностью 0%	130...350

При прогнозировании поражений людей от воздействия избыточного давления взрыва паровоздушной смеси используются пробит-функции типа:

$Pr = -12.6 + 1.524 \cdot \ln(\Delta p)$ — вероятность разрыва барабанных перепонок;

$Pr = a \cdot \ln(b / \Delta p + c / (\Delta p \cdot I))$ — вероятность летального исхода от прямого воздействия.

Выводы

В работе получены функции уязвимости человека в условиях воздействия на человека тепловых потоков и температуры газовой среды, окружающей человека, позволяющие оценить поражение человека

без защитных средств с вероятностью 0%, 50% и 100%. Проверка результатов расчетов с использованием полученных математических зависимостей показала высокую степень сходимости с известными экспериментальными данными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Акатьев В. А., Метелкин Е. В., Нигметов Г. М. Методы и средства оценки и снижения сейсмического риска. *Безопасность в техносфере*, 2016. №5. С.75-86.
- [2]. Rowe W. D. An Anatomy of Risk. R. E. Krieger Publishing Company, New York, 1977 – 488 p.
- [3]. Оценка и управление природными рисками. Тематический том / Под ред. А. Л. Рагозина. М., «КРУК», 2003, 320 с.
- [4]. Трбоевич В. М. Критерии риска в странах ЕС. *Проблемы анализа риска*, 2004, т.1, №2, С.107.
- [5]. Александров А. А., Суцев С. П., Ларионов В. И. Единая методология анализа риска чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера. *Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2015, №1, С. 112–130.
- [6]. Оперативное прогнозирование инженерной обстановки в чрезвычайных ситуациях. Акатьев В. А., Волков С. С.,

Гаваза В. С. и др. / Под ред. Шойгу С. К. М., Папирус, 1988, 176 с.

[7]. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М., Высшая школа, 1998, 576 с.

[8]. Акатьев В. А. Разработка, оценка и внедрение средств снижения риска в управлении безопасностью объектов энергетики. Дис. ... д-ра техн. наук. — М., МЭИ, 2006.

[9]. Акатьев В. А. Научно-методические и организационные аспекты управления техногенным риском: монография. М., Изд-во РГСУ, 2012, 274 с.

[10]. Маршалл В. Основные опасности химических производств: пер. с англ. — М.: Мир, 1989, 672 с.

[11]. Акатьев В. А. Стратегия управления безопасностью нефтепроводных систем. *Безопасность в техносфере*. 2008, №1, С. 6–12.

[12]. Справочник по безопасности космических полетов / Г. Т. Береговой, В. И. Ярполов, И. И. Баранецкий и др. М., Машиностроение, 1989, 336 с.

[13]. Белов С. В. Безопасность жизнедеятельности / С. В. Белов, А. В. Ильницкая, А. Ф. Козьяков и др. М., Высшая школа. 2007, 616 с.

[14]. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. ГОСТ 12.3.047-98. М., Госстандарт России.

[15]. Иванов Е. Н. Расчет и проектирование систем противопожарной защиты. М., Химия, 1990, 384 с.

[16]. Матрюков Б. С. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. М., Академия, 2004, 336 с.

Акатьев Владимир Андреевич — д-р техн. наук, профессор кафедры «Экология и промышленная безопасность» МГТУ им. Н. Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Зенцов Игорь Иванович — д-р техн. наук, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России (Федеральный центр науки и высоких технологий) (Российская Федерация, 121352, Москва, Давыдовская ул., д. 7).

The function of human vulnerability, taking into account the duration of the damaging factor

V. A. Akat'ev^{*1}, I. I. Zentsov^{**}

** Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia*

*** All-Russian Science Research Institute of Civil Defence and Emergencies of EMERCOM
(Federal Center of Science and High Technologies), Moscow, Russia*

Abstract

The article presents the results of studies to substantiate the vulnerability functions of a person in light clothes and without personal protective equipment, exposed to heat flows and (or) air temperatures. As experimental data, the published parameters of thermal effects are taken, leading to lesions of an unprotected person at various exposures. The available methods for assessing human vulnerability to the effects of thermal fields when used give large discrepancies when compared with experimental data, especially at initial and final values of temporary exposures, as well as at low and high values of the damaging factor. So, at low values of heat fluxes, the duration of their impact on the degree of damage to a person has little effect, and, conversely, at high values of the heat flux density, the effect of the duration of exposure increases many times over.

In this regard, the problem of substantiating the functions of thermal (temperature) vulnerability of a person with a wide range of intensities of damaging factors and temporary exposures is relevant.

In this work, the functions of human vulnerability under the influence of heat flows and the temperature of the gaseous medium surrounding a person are obtained, which make it possible to assess the damage to a person without protective equipment with a probability of 0%, 50% and 100%. Checking the results of calculations using the obtained mathematical dependences showed a high degree of convergence with the results of known experimental data.

Keywords

Risk, thermal exposure, human vulnerability, human injury, temporary exposure

REFERENCES

- [1]. Akat'ev V. A., Metelkin E. V., Nigmatov G. M. Metody i sredstva otsenki i snizheniia seismicheskogo riska [Methods and tools of seismic risk assessment and reduction. Overview]. *Bezopasnost' v tekhnosfere* [Safety in technosphere], 2016. №5. pp.75-86. (In Russ.)
- [2]. Rowe W. D. An Anatomy of Risk. R. E. Krieger Publishing Company, New York, 1977, 488 p.

¹ Corresponding author:

E-mail: akatevva@bmstu.ru

- [3]. Otsenka i upravlenie prirodnymi riskami. Tematicheskii tom [Assessment and management of natural risks. Thematic volume] / Edited by A. L. Ragozina. Moscow: «KRUK» Publ., 2003. 320 p. (In Russ.)
- [4]. Trboevich V. M. Kriterii riska v stranakh ES [Risk criteria in EU countries]. *Problemy analiza riska* [Problems in Risk Analysis]. 2004, Vol. 1, №2, p.107. (In Russ.)
- [5]. Aleksandrov A. A., Sushchev S. P., Larionov V. I. Edinaia metodologiya analiza riska chrezvychainykh situatsii tekhnogenogo i prirodnogo kharaktera [Uniform methodology of the risk analysis of emergency situations of technogenic and natural character]. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im N. E. Baumana. Ser. Estestv. nauki* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Nat. Sci.], 2015, №1., pp. 112–130. (In Russ.)
- [6]. Operativnoe prognozirovanie inzhenernoi obstanovki v chrezvychainykh situatsiiakh [Operational forecasting of the engineering situation in emergency situations] Akat'ev V. A., Volkov S. S., Gavaza V. S. et al. / Edited by. Shoigu S. K. Moscow, Papirus Publ., 1988, 176 p.
- [7]. Venttsel' E. S. Teoriia veroiatnostei [Probability theory]. Moscow: Vysshiaia shkola Publ., 1998, 576 p. (In Russ.)
- [8]. Akat'ev V. A. Razrabotka, otsenka i vnedrenie sredstv snizheniia riska v upravlenii bezopasnost'iu ob'ektov energetiki [Development, evaluation and implementation of risk reduction tools in the safety management of energy facilities]. Dis. ... d-ra tekhn. nauk. [Thesis Dr. Sc. (Eng.)] – Moscow, MEI, 2006. (In Russ.)
- [9]. Akat'ev V. A. Nauchno-metodicheskie i organizatsionnye aspekty upravleniia tekhnogennym riskom: monografiia. [Scientific, methodological and organizational aspects of man-made risk management: monograph]. Moscow: RGSU Publ., 2012. 274 p. (In Russ.)
- [10]. Marshall V. Major chemical hazards – Moscow: Mir Publ., 1989. 672 p.
- [11]. Akat'ev V. A. Strategiia upravleniia bezopasnost'iu nefteprovodnykh sistem [Oil pipeline system safety management strategy]. *Bezopasnost' v tekhnosfere* [safety in Technosphere]. 2008. №1. pp. 6–12. (In Russ.)
- [12]. Spravochnik po bezopasnosti kosmicheskikh poletov [Handbook of Space Flight Safety] / G. T. Beregovoi, V. I. Iarpolov, I. I. Baranetskii et al. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1989. 336 p. (In Russ.)
- [13]. Belov S. V. Bezopasnost' zhiznedeiatel'nosti [Life safety] / S. V. Belov, A. V. Il'nitskaia, A. F. Koz'iaikov et al. – Moscow: Vysshiaia shkola Publ., 2007. 616 p. (In Russ.)
- [14]. Pozharnaia bezopasnost' tekhnologicheskikh protsessov. Obshchie trebovaniia. Metody kontroliia. [Fire safety of technological processes. General requirements. Control methods] GOST 12.3.047-98. – Moscow: Gosstandart Rossii Publ. (In Russ.)
- [15]. Ivanov E. N. Raschet i proektirovanie sistem protivopozharnoi zashchity [Calculation and design of fire protection systems]. M.: Khimiia Publ., 1990. 384 p. (In Russ.)
- [16]. Mastriukov B. S. Bezopasnost' v chrezvychainykh situatsiiakh [Emergency Safety]. Moscow, Akademiia Publ., 2004, 336 p.

Akatev V. A. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Department of Ecology and Industrial Safety, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Zentsov I. I. — Dr. Sc. (Eng.), Chief Researcher, All-Russian Science Research Institute of Civil Defense and Emergencies of EMERCOM (Federal Center of Science and High Technologies) (Davydkovskaya st., 7, Moscow, 121352, Russian Federation).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Функция уязвимости человека с учетом продолжительности действия поражающего фактора / В. А. Акатьев, И. И. Зенцов // Промышленные процессы и технологии. 2022. Т. 2. № 1. С. 15 – 28

DOI: 10.37816/2713-0789-2022-2-1-15-28

Please cite this article as:

Akatev V. A., Zentsov I. I. The function of human vulnerability, taking into account the duration of the damaging factor. Industrial processes and Technologies, 2022, vol. 2, no. 1, pp. 15 – 28

DOI: 10.37816/2713-0789-2022-2-1-15-28