

**Н.В. Белых, М.В. Веселовская, М.Н. Герлиман (1 курс, каф. УЗЧС),
В.В. Яковлев, д.т.н., проф.**

ПОРАЖЕНИЕ ЧЕЛОВЕКА ТЕПЛОЙ РАДИАЦИЕЙ ГОРЯЩИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Наиболее трудоемкой является задача определения поражающего действия теплового потока горящих нефтепродуктов на человека вследствие расхождения в значениях опубликованных экспериментальных данных, разночтения в критериях и обилия различных, не всегда согласующихся методологических подходов.

Поражающее действие тепловой радиации на человека при сгорании углеводородов вследствие их аварийных выбросов и дефлаграционных взрывов оцениваются по различным критериям, одним из которых является величина теплового потока $q(r)$.

Степень поражающего действия теплового облучения на человека можно определить по значению параметра Q :

$$Q = q(r)^{4/3} \cdot t, \quad (1)$$

где $q(r)$ — падающий на тело человека тепловой поток, Вт/м²; t — время теплового облучения, с; r — расстояние между центром пламени и человеком, м.

Например, для фиксированного расстояния r при плотности теплового потока $g(r)=10000$ Вт/м² и времени облучения 15 с значение критерия Q составит:

$$Q = (10000)^{4/3} \cdot 15 = 215443.46 \cdot 15 = 3231652.03 \approx 3.23 \cdot 10^6 \text{ (Вт/м}^2)^{4/3} \cdot \text{с}$$

Как правило, различают три степени поражения человека тепловой радиацией.

Первая степень соответствует ожогу кожи на глубину до 0.12 мм, вторая степень поражения соответствует ожогу кожи на глубину до 2 мм, третья степень поражения соответствует ожогу кожи на глубину более 2 мм.

Критические значения параметра Q для различных степеней поражения человека приведены в табл. 1.

Таблица 1. Безопасные и поражающие с вероятностью, близкой к единице, значения параметра Q , (Вт/м²)^{4/3}·с

1 степень		2 степень		3 степень	
Q безопасное	Q поражающее	Q безопасное	Q поражающее	Q безопасное	Q поражающее
$0.1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^7$	$0.3 \cdot 10^6$	$2.5 \cdot 10^7$	$0.7 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^7$

Таким образом, полученное значение $Q=3.23 \cdot 10^6$ (Вт/м²)^{4/3}·с показателя немного превышает безопасное для поражения второй степени, но следует полагать, что при таких условиях облучения поражение первой степени неизбежно, второй и третьей - практически невозможно.

По другим источникам воздействие тепловой радиации на человека несколько иное и представлено в табл. 2.

Таблица 2. Действие теплового излучения на человека

Величина теплового потока q , кВт/м ²	Наблюдаемый эффект
0.67	Аналогичен действию солнечного излучения летом на широте Великобритании

Величина теплового потока q , кВт/м ²	Наблюдаемый эффект
1.4	Максимальное значение при неопределенно долгом воздействии на кожу
6.4	Боль спустя 8 с после начала воздействия на кожу
10.4	Боль спустя 3 с после воздействия на кожу
16.0	Появление волдырей на коже спустя 5 с после начала воздействия

В некоторых нормативных документах встречаются рекомендации по оценке степени поражения человека тепловым облучением с помощью так называемого индекса поражения:

$$J = 60 \cdot q(t)^{4/3} \quad (2)$$

где $q(t)$ - плотность теплового потока, кВт/м²·с.

Легко заметить, что выражение (2) представляет собой (1) за время воздействия теплового излучения в течение одной минуты и выраженное в других порядках величины потока.

Расчетные значения доли пораженной тепловым облучением части населения с летальным исходом в зависимости от значения индекса J представлены графиком на рис. 1.

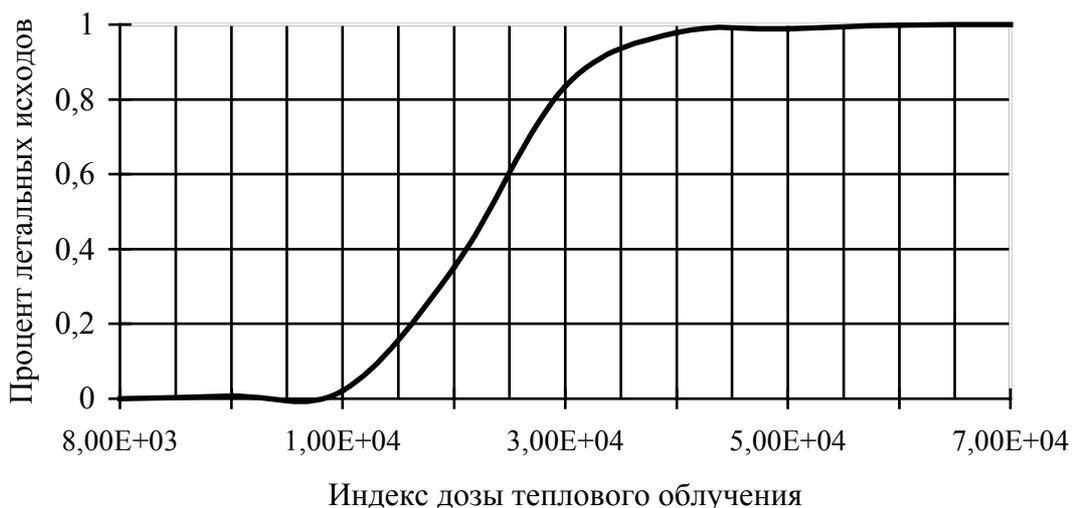


Рис. 1. Зависимость доли летального исхода населения от индекса дозы теплового облучения, выраженного в (кВт/м²)^{4/3}·с.

Для сравнения изложенных выше подходов к оценке поражения человека тепловым излучением рассмотрим простой пример.

Пример 1.

Определить вероятность поражения человека при действии теплового потока $q = 10000$ Вт/м² в течение времени от 10 до 60 с.

Решение.

Расчет вероятности поражения человека произведем на основе использования методики построения координатного закона поражения [1] для нормального закона распределения случайной величины, которой, естественно, является плотность падающего теплового потока.

Воспользуемся зависимостью (1) и получим результаты, представленные на рис. 2. Значение индекса (2) при этом составит:

$$J = 60 \cdot (10)^{4/3} \cong 60 \cdot 21.544 = 1292.66 \approx 0.13 \cdot 10^4 (\text{Вт/м}^2)^{4/3} \cdot \text{с},$$

т.е. согласно графику рис. 1 доля населения с летальным исходом равна нулю, что, вообще говоря, согласуется с результатами расчетов по формуле (1).

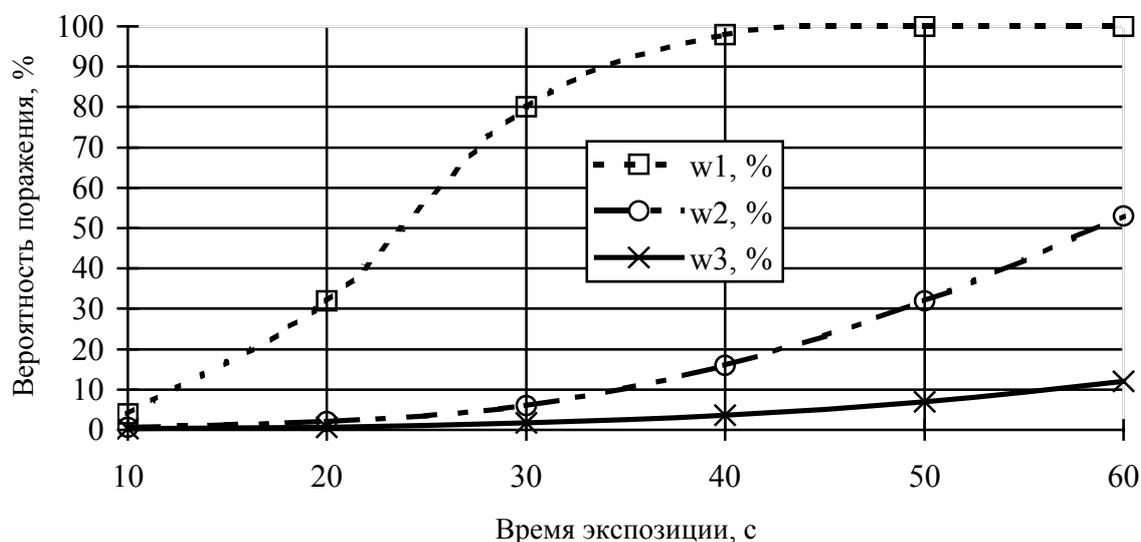


Рис. 2. Вероятность поражения человека тепловым облучением первой (w1), второй (w2) и третьей (w3) степени при падающем на тело тепловом потоке 10000 Вт/м² по критериям табл. 1.

Наиболее корректным представляется решение задачи о поражающем действии тепловой радиации на человека с использованием критериев интегральной величины количества тепла, полученного телом человека за время облучения.

В работе [2] приведены критерии поражения человека тепловым облучением, представленные в табл. 3. В этом случае интегральный показатель $\hat{Q}(t, r)$ рассчитывается как произведение плотности теплового потока на конкретное время облучения, т.е. рассчитывается удельная (приведенная к 1 м²) тепловая энергия, полученная телом человека за время облучения:

$$\hat{Q}(t, r) = q(r) \cdot t, \quad (3)$$

где $\hat{Q}(t, r)$ — тепловая энергия, приходящаяся на единицу площади тела человека, кДж/м²; $q(r)$ — плотность падающего теплового потока на расстоянии r от центра пожара, кВт/м²; t — время облучения человека, с.

Таблица 3. Интегральные критерии поражения человека тепловым облучением

Степень ожога	\hat{Q} , кДж/м ²	Характер поражения и последствия	
Первая	100...200	Покраснение и припухлость кожи. Ожоги быстро заживают.	Работоспособность не теряется.
Вторая	200...400	Образование пузырей, наполненных жидкостью. Требуется лечение.	Потеря работоспособности. Санитарные потери.
Третья	400...600	Полное разрушение кожного покрова, образование язв. Требуется госпитализация.	Длительная потеря работоспособности. Санитарные потери.
Четвертая	Более 600	Омертвление кожной клетчатки, мышц и костей, обугливание. Обязательная госпитализация.	Возможен летальный исход. Безвозвратные потери.

Подводя итог изложенному, можно заключить, что наиболее приемлемым остается вероятностная оценка результатов воздействия теплового излучения на человека при горении нефтепродуктов. При этом основным физическим параметром является интегральный показатель количества тепла, воспринятого телом человека.

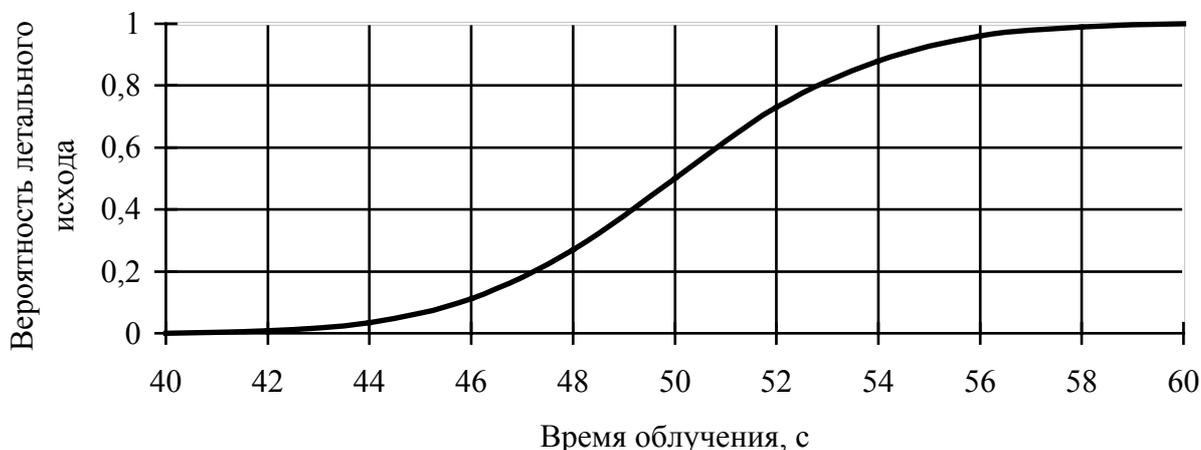


Рис. 3. Изменение вероятности летального исхода при облучении тела человека тепловым потоком 10 кВт/м^2 при различной экспозиции. Безопасное значение интегрального показателя (по летальному исходу) выбрано равным 400 кДж/м^2 , поражающее — 600 кДж/м^2 .

Алгоритм комплексной оценки последствий пожара разлития сводится к следующему:

1. Рассчитывается радиус растекания нефтепродукта на заданный момент времени.
2. Определяется мощность тепловой эмиссии пламени горящего нефтепродукта с учетом задымления.
3. Для заданного расстояния рассчитывается плотность теплового потока, действующего на рассматриваемый объект.
4. По данным о времени облучения, безопасным и поражающим значениям плотности теплового потока определяются: математическое ожидание, среднеквадратическое отклонение, нормированное отклонение действующего теплового потока.
5. По методике [1] вычисляется вероятность поражения рассматриваемого объекта в заданных условиях теплового воздействия.

При решении задачи о воздействии пожара в резервуарах хранения нефтепродуктов алгоритм отличается от изложенного выше, только в части определения мощности тепловой эмиссии пламени и учета влияния на эту величину диаметра резервуара.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Яковлев В.В., Яковлев А.В. Последствия аварийных взрывов газозвоздушных смесей.- СПбГТУ, 2000.
2. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Кн. 1...5, М, 1995...2001.