

УДК 622.861

И.А. Малый

Главное управление МЧС России по Кемеровской области

Ю.И. Поляков

НЦ ВостНИИ

Соотношения между минимальными частотами (рисками) естественной и насильственной смертей

Приведены результаты теоретических исследований по определению минимальных значений частот (рисков) естественной и насильственной смертей и соотношений между ними

Для решения вопроса о частотах (рисках) насильственной и естественной смертей и взаимосвязи между тяжестью и риском необходимо знать аналитическую функцию плотности распределения (плотность вероятности), т.е. дифференциальный закон распределения тяжести m .

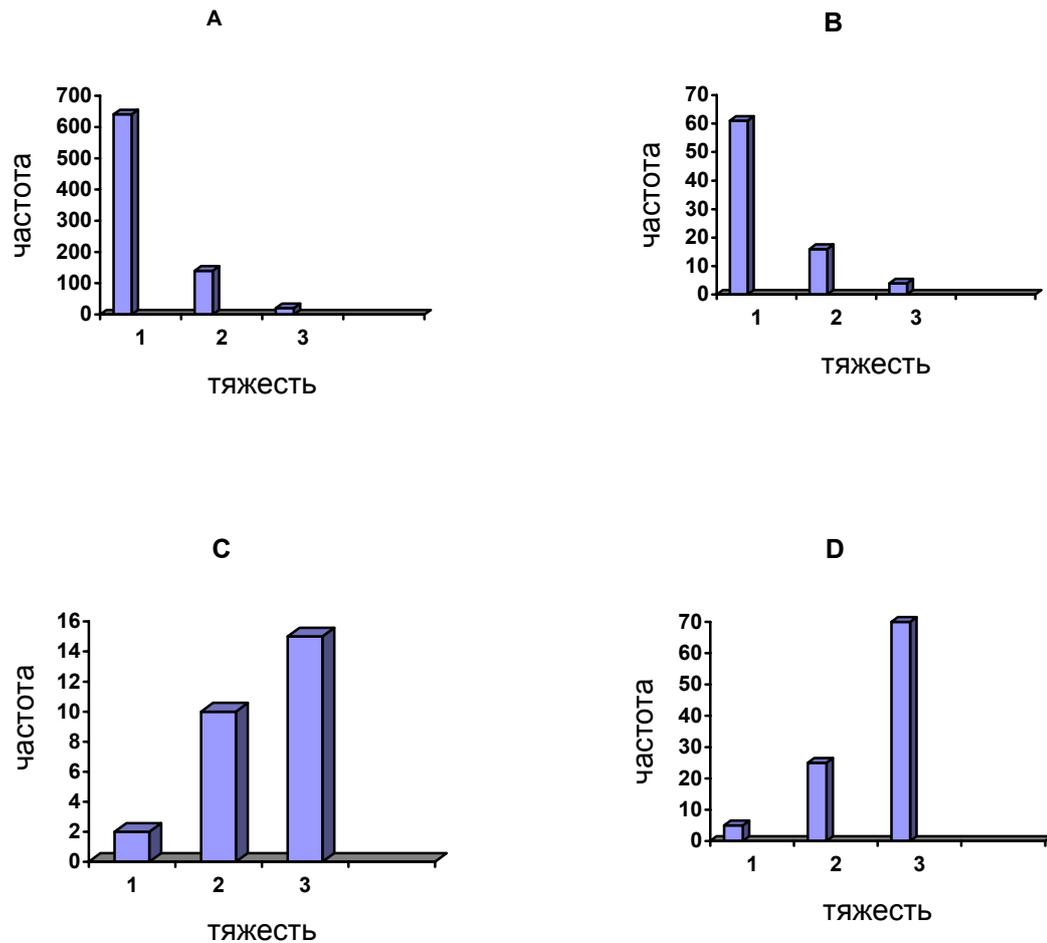
Известно множество функций распределения непрерывной случайной величины X .

Для получения ориентировочного представления о функции распределения рассмотрим изменение частоты в зависимости от изменения тяжести проявления опасности.

Взаимосвязь между риском и тяжестью (последствиями)

На рисунке 1 представлены изменения фактической частоты проявления опасности от тяжести в различные периоды времени. Рисунок 1А содержит данные по частотам легких, тяжелых и смертельных исходов травмирования работающих в 1958 г., а рисунок 1В выполнен по данным 2003 г. Характерной особенностью динамики этих частот является уменьшение частоты (риска) с увеличением тяжести травмирования, тогда как на рисунках 1С и 1D показаны противоположные зависимости, в которых частота травмирования увеличивается вместе с увеличением тяжести.

Последние две зависимости характерны для частоты исходов при взрывах, например, метановоздушной смеси.



1 - общие исходы; 2 - тяжелые исходы; 3 - смертельные исходы

Рисунок 1 - Частота исходов в зависимости от тяжести травмирования:

1А,1В – уменьшение частоты (риска) на один миллион отработанных человеко-смен с увеличением тяжести; 1С,1D - увеличение частоты (риска) с увеличением тяжести

Вообще в принципе в чистом виде возможны три принципиально разных интересующих нас типа функции распределения:

- с увеличением тяжести проявления опасности вероятность (риск) попадания на участок тяжести $\alpha \leq \beta \leq \infty$ уменьшается;
- с увеличением тяжести проявления опасности вероятность (риск) попадания на участок $\alpha \leq \beta \leq \infty$ увеличивается;
- вероятность попадания на какой-либо участок тяжести не зависит от его расположения на оси абсцисс.

Любые другие зависимости, имеющие экстремумы, в принципе могут быть получены дозированными комбинациями трех вышеприведенных распределений. Но анализ российских фактических данных по травматизму за 48 лет и зарубежных (6 стран) примерно за 25 –летний период показал, что все функции распределения тяжести являются гладкими, т.е. не содержат экстремумов.

мов. Не удалось обнаружить равномерное распределение несчастных случаев по тяжести ни в одной отрасли. Несмотря на это, принимаем в качестве достаточно общей функции распределения тяжести в виде

$$f(m) = 1/m^b, \quad (1)$$

где $f(m)$ – плотность распределения тяжести;

m – тяжесть проявления опасности;

b – смещение средней тяжести в сторону ее уменьшения или увеличения.

Риск p на участке $(12/13) \leq m \leq \infty$ будет равен

$$p (\alpha < m < \infty) = C \cdot \int_{\alpha}^{\infty} ((dm)/m^b) = (12/13\alpha)^{b-1}, \quad (2)$$

где $C = (12/13\alpha)^{b-1} / (b-1)$ – нормирующий коэффициент.

Теоретическими исследованиями установлена средняя тяжесть проявления опасности при изменении тяжести m в пределах $(12/13) \leq m \leq \infty$, равная

$$\bar{m} = (12/13) \cdot (b-1)/(b-2), \quad (3)$$

$$b = 1 + 0,463 \cdot \ln(p/p_c) = 1 + 0,463 \cdot \ln[(N/M)/(n_c/M)] = 1 + 0,463 \cdot \ln(N/n_c) = 1 - 0,463 \cdot \ln p_c, \quad (4)$$

где p – риск общего исхода;

p_c – риск смертельного исхода.

$$0,463 = 1 / \ln(8 \cdot 13/12). \quad (5)$$

Подставляя значение b из формулы (4) в формулу (3) и выполняя необходимые преобразования, получим аналитическую зависимость между средней тяжестью и частотой проявления опасности:

$$\bar{m} = 0,923 \ln(p/p_c) / \ln(0,463 \cdot p/p_c) \quad (6)$$

или
$$p = p_c \sqrt[m-c]{8,67^{\bar{m}}}, \quad (7)$$

где $c = 12/13$ – численное значение начала шкалы тяжести исходов;

$p = N/M$ – частота проявления опасности через общие исходы;

N – число человеко-смен с общими исходами;

M – общее число отработанных человеко-смен за время Δt ;

$p_c = n_c/M$ – частота проявления опасности через смертельные исходы;

n_c – число человеко-смен со смертельными исходами.

Аналитические взаимозависимости между риском и средней тяжестью представлены уравнениями (6) и (7).

Из уравнения (6) следует, что чем больше отношение частот p/p_c исходов, тем меньше средняя тяжесть проявления опасности.

Этот вывод хорошо прослеживается на рисунке 2.

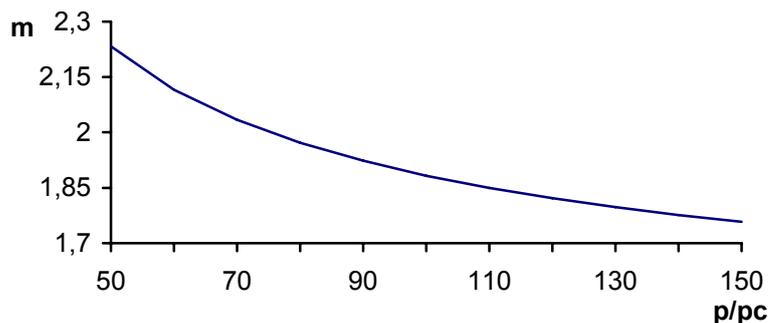


Рисунок 2 - Зависимость между средней тяжестью и отношением общих исходов к смертельным

Из формулы (6) следует, что при разработке мероприятий по безопасности следует больше уделять внимания мероприятиям, направленным в первую очередь на снижение случаев со смертельными исходами.

Минимальные риск, тяжесть, безопасность жизнедеятельности и опасность

Минимальное значение смещения тяжести найдем из условия, что все несчастные случаи (НС) во всех человеко-сменах имеют один и тот же исход, т.е. $N = n_c$ и $N/n_c = 1$, а $\ln(N/n_c) = 0$, т.е. $b = 1$.

Поскольку N на практике не может быть равно n_c , так как этот случай соответствует не случайности воздействия, а некоторой жесткой закономерности, так как

$$p = (1/\alpha)^{b-1} = (1/\alpha)^{1-1} = 1, \quad (8)$$

или тем более быть больше, чем n_c , так как часть целого не может быть больше целого, то следует признать нижней границей смещения тяжести число сколь угодно близкое к единице, так что b всегда будет $b > 1$ при случайном проявлении опасности.

Максимальное значение показателя b определим из предположения, что чем больше решается задач безопасности, тем в меньшей степени имеется возможность поражающим факторам воздействовать на работающих. Чем больше будет объем полученных сведений и чем содержательнее они будут, тем менее неопределенным будет состояние работающих. Если состояние работающих полностью определится, то энтропия системы будет равна нулю. Задаваясь произвольно малым участком нечувствительности методов оценки тяжести НС, с помощью которых определяется состояние работающих после воздействия поражающих факторов, можно найти переменную часть энтропии, равную

$$H_{\square m}(m) = - \int_{12/13}^{\infty} \psi(m) \ln \psi(m) \psi(m) - \ln(\Delta n) = 0; \quad (9)$$

$$H_{\square m}(m) = -\ln(b-1) + b/(b-1) + \ln(12/13) - \ln \Delta m = 0. \quad (10)$$

Так как число дней нетрудоспособности определяется с точностью до одного дня, а этому

числу соответствует анатомическая тяжесть травмирования $\alpha_1 = 12/13$, то следует признать, что

$$\ln (12/13)_1 = \ln \Delta m, \quad (11)$$

так как приращение тяжести менее чем $m_1 = \alpha_1 = 12/13$, т.е. равной одному дню нетрудоспособности, не учитывается из-за неопределенности состояния пострадавшего.

В этом случае формула (10) приобретает следующий вид

$$H_{\Delta m}(m) = - \ln(b-1) + b/(b-1) = 0, \quad (12)$$

из которой находится максимальное значение смещения тяжести НС,

$$\text{EXP } [b/(b-1)] = b-1. \quad (13)$$

Равенства (12) и (13) удовлетворяются при

$$b = 4,59112; \quad 1 < b \leq 4,59112. \quad (14)$$

Минимальная средняя тяжесть проявления опасности вычисляется по формуле (15) при $b = 4,591120$.

$$\bar{m} = (\alpha_i)^{b-1} (b-1) \int_{\alpha_i}^{\infty} dm / m^{b-1} = \alpha_i (b-1)/(b-2), \quad (15)$$

где α_i - левая текущая граница i -того интервала тяжести.

Если α_i за время Δt будет находиться в пределах $(12/13) < \alpha_i <$ и смещение тяжести будет равно $b = 4,591120$, то минимальная средняя тяжесть проявления опасности, вычисляемая по формуле (15), будет равна

$$\bar{m} = (12/13)(4,59112 - 1) / (4,59112 - 2) = 1,279 \text{ отн. ед.} \quad (16)$$

Этому значению тяжести будет соответствовать частота проявления опасности со смертельными исходами, вычисляемая по формуле

$$P_c = (3/26)^{b-1} \quad (17)$$

и равная

$$P_c = (3/26)^{3,59112} = 0,000429 = 429 \text{ микрорисков.}$$

Полученный результат относится к ситуациям техногенного характера.

Условимся называть риски такого характера технорисками в отличие от частоты (риска) смертельных исходов естественного характера, которые будем называть биорисками.

Минимальный биориск финиша мужчин при известной возможной максимальной продолжительности жизни мужчины, равной $T_m \cong 157,09$ лет будет равен

$$p_{бм} = 1/157,0909 = 6336 \text{ биомикрорисков.} \quad (18)$$

Минимальный техномикрориск финиша женщин определяется с помощью равенства

$$p_{бп} \approx 10^{-6} e, \quad (19)$$

где $p_{бж}$ – биориск у женщин;

p_t – технориск у женщин;

$e = 2,718$ – основание натуральных логарифмов.

При максимально возможной продолжительности жизни женщин, равной $T_{ж} = 145,2$ года, биориск у женщин будет равен $p_{бж} = 1/145,2 \cong 0,006882 = 6882$ микробиориска.

Минимальный техномикрориск финиша женщин при известном $p_{бж} = 6882$ биомикрорисков

будет равен:

$p_{\text{тж}} = 2,71828/10^6 \cdot 0,006882 = 2,71828 / 6882 = 0,000395 = 395$ техномикрорисков и меньше, чем у мужчин, в 1,086 раза.

Соотношение между биосмертью и насильственной смертью определяется зависимостью (20)

$$P_{\text{н}} = P_{\text{б}}^{1,533}, \quad (20)$$

где $P_{\text{н}}$ и $P_{\text{б}}$ – минимальные частоты (риски) насильственных и биосмертей.

Верификация теоретических результатов исследований показала, что, хотя и происходит снижение частоты насильственной смерти, до достижения ее минимальных значений еще далеко (должен быть один случай со смертельным исходом на 2333 случая с общим исходом). Минимальная частота естественной смерти связана с продолжительностью жизни и не достигла своего минимума ни в одной стране, так как нигде не достигнут возможный максимум продолжительности жизни мужчин (157,09 года) и женщин (145,2 года). Не следует путать со средней продолжительностью жизни мужчин и женщин. Минимальная частота естественной смерти не может быть менее $6,9 \cong 7$ человек на 1000 живущих, а минимальная частота насильственной смерти не может быть меньше $4,29 \cong 4,3$ на десять тысяч живущих.