

*Уровни  
индивидуального  
риска*



# Уровни индивидуального риска

---

- При оценке экологического риска, создаваемого техногенными системами во многих случаях оценивают показатели здоровья населения или определённого контингента лиц, а также показатели материального ущерба и экономических потерь.
- Согласно определению ВОЗ **здоровье человека** это – состояние полного физического, психологического и социального благополучия, а не только отсутствие болезней, травм или физических дефектов.

# Уровни индивидуального риска

---

- В качестве критерия при определении риска чаще всего используется число смертельных случаев.
- Источники риска смерти по своему происхождению являются естественными и искусственными или антропогенными, возникающими в результате человеческой деятельности.
- К источникам риска естественного происхождения относятся внутренняя среда организма и естественная среда обитания.

# Среда обитания и внутренняя среда

---

- Внутренняя среда это состояние здоровья и психики человека, определяемое с одной стороны протеканием биологических процессов в организме, а с другой состоянием общества.
- Среда обитания содержит естественные источники риска, являющиеся природными явлениями типа землетрясений, ураганов, наводнения, солнечной радиации и т.п., и различных техногенных систем, воздействующих на окружающую среду. Состояние среды обитания тесно связано с антропогенным воздействием на окружающую природу и поэтому иногда оценивают такой показатель, как риск создаваемый искусственной средой обитания.

# Классификация источников риска и его уровни

Источник риска	Уровень риска
<b>Естественная — смерть — (естественные болезни, старость):</b> <b>Внутренняя среда обитания</b> <b>Естественная среда организма</b>	$10^{-2}$ $10^{-4} - 10^{-2}$ $3 \cdot 10^{-8} - 10^{-5}$
<b>Искусственная среда обитания:</b> <b>Несчастные случаи, в том числе:</b> <b>всего</b> <b>в автотранспорте</b> <b>при падении</b> <b>на воде</b> <b>при пожарах</b> <b>прочие</b> <b>Выбросы ТЭС и загрязнение атмосферы</b> <b>Выхлопные газы автомобилей</b> <b>Катастрофы в искусственной среде обитания (смог, аварийное загрязнение и т.п.)</b> <b>Все причины вместе взятые</b>	$3 \cdot 10^{-5} - 10^{-3}$ $5.8 \cdot 10^{-4}$ $2.8 \cdot 10^{-4}$ $9 \cdot 10^{-5}$ $4 \cdot 10^{-5}$ $4 \cdot 10^{-5}$ $1.3 \cdot 10^{-4}$ $4 \cdot 10^{-6} - 2 \cdot 10^{-5}$ $(1 - 5) \cdot 10^{-6}$ $10^{-6} - 10^{-5}$ $10^{-3}$

# Классификация источников риска и его уровни

<b>Профессиональная деятельность:</b>	$10^{-6} - 10^{-2}$
<b>Промышленность:</b>	
производство горчичного газа	$10^{-2}$
углекоксование и вулканизация	$(2 - 10) \cdot 10^{-3}$
угольная промышленность	$5 \cdot 10^{-4} - 1,2 \cdot 10^{-3}$
обрабатывающая промышленность	$(0.8 - 1.2) \cdot 10^{-4}$
текстильная, бумажная, типографская, пищевая промышленность	$(1 - 10) \cdot 10^{-5}$
швейная и обувная промышленность	$(1 - 10) \cdot 10^{-6}$
<b>Строительство</b>	$7 \cdot 10^{-4} - 1.2 \cdot 10^{-3}$
<b>Сельское хозяйство</b>	$6 \cdot 10^{-4}$
<b>Автотранспорт</b>	$6 \cdot 10^{-4}$
<b>Сфера обслуживания</b>	$10^{-4}$
<b>Торговля</b>	$7 \cdot 10^{-5}$

# Классификация источников риска и его уровни

---

- Данные, приведённые в табл. показывают, что риск естественной смерти на 1-2 порядка выше, чем риск, связанный с техногенным воздействием и профессиональной деятельностью, и на 3-4 порядка выше, чем риск, связанный с воздействием природных факторов окружающей среды. Только некоторые виды профессиональной деятельности, как, например, производство горчичного газа, создают риск того же порядка, что и естественная смерть.

# Величины индивидуального риска смерти, рассчитанные для одного года

<b>Причины смерти</b>	<b>Вероятность одной смерти в год</b>
<b>Все причины</b>	$10^{-2}$
<b>Все «внутренние» причины (болезни)</b>	$10^{-2}$
<b>Все «внешние» причины (аварии, отравления, насилие и т.п.)</b>	$10^{-4}$
<b>Все аварии на транспорте</b>	$10^{-5}$
<b>Случайные отравления</b>	$10^{-5}$
<b>Травматизм на производстве</b>	$10^{-6}$
<b>Аварии на воздушном транспорте</b>	

# *Профессиональный риск*



# Профессиональный риск

---

- Профессиональный риск связан с профессиональной деятельностью людей и определяется для определенного контингента лиц, занятых тем или иным видом деятельности.
- В гигиеническую литературу термин профессиональный риск, как и термин «риск», вошел вместе с рекомендацией Международной организации по стандартизации (ИСО) по оценке вероятности потери слуха от шума

# Профессиональный риск

---

Закон «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний» даёт следующее определение профессионального риска:

**Профессиональный риск** есть вероятность повреждения (утраты) здоровья или смерти застрахованного, связанная с исполнением им обязанностей по трудовому договору (контракту).

# Профессиональный риск

---

- Объектом страхования являются имущественные интересы физических лиц, связанные с утратой ими здоровья, профессиональной трудоспособности либо их смертью вследствие несчастного случая или профзаболевания.
- В связи с этим профессиональный риск можно определить как риск для жизни или здоровья, связанный с трудовой деятельностью.

# Профессиональный риск

---

Профессиональный риск включает:

- 1 – риск смерти в результате острого действия или хронического действия независимо от длительности болезни, если установлена связь с профессией,
- 2 – риск травмы,
- 3 – риск профессионального заболевания как любого ненормального состояния или нарушения (кроме травм), вызванного воздействием факторов, связанных с трудовой деятельностью, и возникшего за период более одного рабочего дня или смены.

# Данные о риске для некоторых профессий

<b>Источник риска</b>	<b>Уровень риска на человека в год</b>
<b>Пожарник</b>	$2 \cdot 10^{-4}$
<b>Полицейский</b>	$3 \cdot 10^{-4}$
<b>Верхолаз</b>	$6.5 \cdot 10^{-3}$
<b>Тракторист</b>	$8.5 \cdot 10^{-3}$
<b>Экипаж гражданского самолета – условия нормального риска</b>	$4.5 \cdot 10^{-4}$
<b>Экипаж реактивного бомбардировщика</b>	$2.5 \cdot 10^{-3}$
<b>Пилот серийного реактивного истребителя</b>	$2 \cdot 10^{-2}$
<b>Летчик испытатель</b>	$1,2 \cdot 10^{-2}$

# Профессиональный РИСК

---

- В табл. приведены данные о риске смерти, обусловленные производственными причинами, для рабочих разных профессий.
- Как видно из данных, приведённых в табл. уровень риска смертельных исходов для всех профессий сильно зависит от рода профессиональной деятельности и колеблется в широком диапазоне от  $10^{-6}$  до  $10^{-2}$  на человека в год. Понятно, что эти уровни риска определяются и рассматриваются только для ограниченных контингентов лиц, занятых в данной отрасли или имеющих данную специальность

# *Оценка риска с учётом ущерба*



# Оценка риска с учетом ущерба

---

- при оценке риска учитывают не только величину самого риска, но и ущерб, который является следствием проявления опасного фактора. Ущерб может быть экономическим, социальным, экологическим и т.д. Любой ущерб может быть оценён в денежном выражении, хотя это не всегда просто сделать.

# Оценка риска с учетом ущерба

- Обычно при оценке риска его характеризуют двумя величинами – вероятностью события  $R_i$  и последствиями (величиной ущерба)  $Q_i$ . В этом случае риск  $R$  определяют как произведение вероятности опасного события, т.е. самой величины риска, на величину ожидаемых последствий (ущербов):

$$R = R_i * Q_i$$

- В данном понимании риск – это двумерная величина, характеризующаяся риском аварии и размерами потерь.
- Риск  $R_i$ , обусловленный воздействием техногенных систем (довольно часто его называют «технический производственный риск») – это риск нанесения ущерба окружающей среде и здоровью людей вследствие аварии техногенной системы.

# Технический риск

- Технический риск - это прежде всего риск аварий. Аварии могут возникать вследствие различных факторов или опасных воздействий.
- На практике оценивают риск выхода из строя (отказа) оборудования или отдельных частей технической системы; риск аварии, возникающий в результате ошибок при проектировании; риск аварии, обусловленный ошибками при монтаже и строительстве; риск аварии, обусловленный нарушением правил эксплуатации и технологических режимов и т.д.
- Величина риска аварии зависит от надёжности технической системы. Чем выше надёжность системы,

# Ущерб от аварии

---

- Ущерб от аварии – это потери (убытки) в производственной и непроизводственной сфере для жизнедеятельности человека, а также вследствие вреда окружающей природной среде, нанесённые в результате аварии технической системы.
- Ущерб или потери могут быть оценены, прежде всего, в денежном выражении, а также в числе пострадавших людей, числе заболевших людей, количестве потерянных дней жизни, числе потерянных дней трудоспособности, числе исчезнувших видов экосистемы и других

*Концепция и  
критерии  
приемлемости риска*

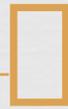


# Концепция приемлемости риска

---

- Концепция приемлемости риска основана на том, что абсолютная безопасность никаких новых устройств и технологий не может быть достигнута. Поэтому при разработке любого нового проекта, любого нового продукта, любого нового устройства требуется всесторонняя оценка степени его опасности и величины пользы, которую он обещает принести.

# Оценка риска



Проблема оценки риска новых технологий и техники сводится к двум основным задачам:

- 1 – Какой уровень риска при данном уровне развития техники неустраним и поэтому должен предусматриваться в проекте?
- 2 – Какой уровень риска можно считать приемлемым?

Для оценки приемлемости риска анализируют, прежде всего, выгоды, которые даёт применение новых технологий и техники, уровень риска данной технологии и техники, величины потерь и затраты на снижение риска. Кроме того, также учитывают

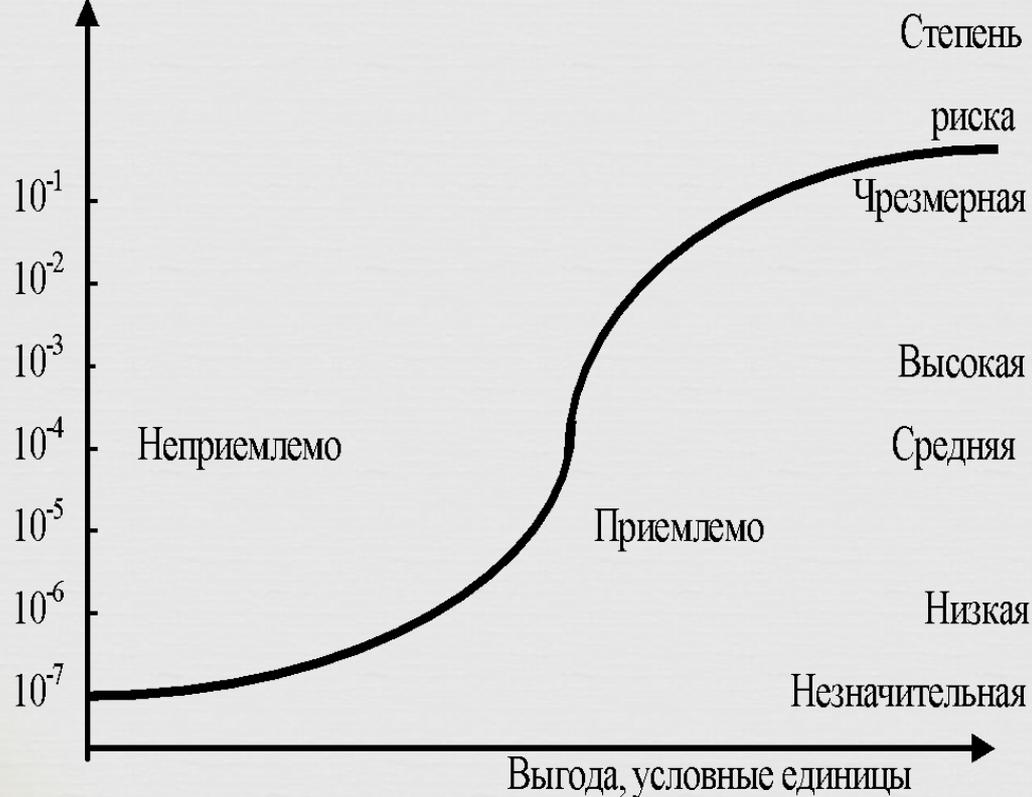
# Экономические факторы приемлемости риска



- Каждому виду деятельности человека, дающему полезные результаты, сопутствуют отрицательные эффекты, создающие дополнительный риск. Поэтому большинство решений о приемлемости того или иного предложения основано на сопоставлении пользы и вреда.
- В общем случае под пользой понимают все возможные полезные эффекты от того или иного вида деятельности, или нового производства, или новой технологии, а под вредом – все отрицательные эффекты. Принятие риска обществом в основном зависит от оценки связанных с риском благ.

# Степень принятия риска обществом

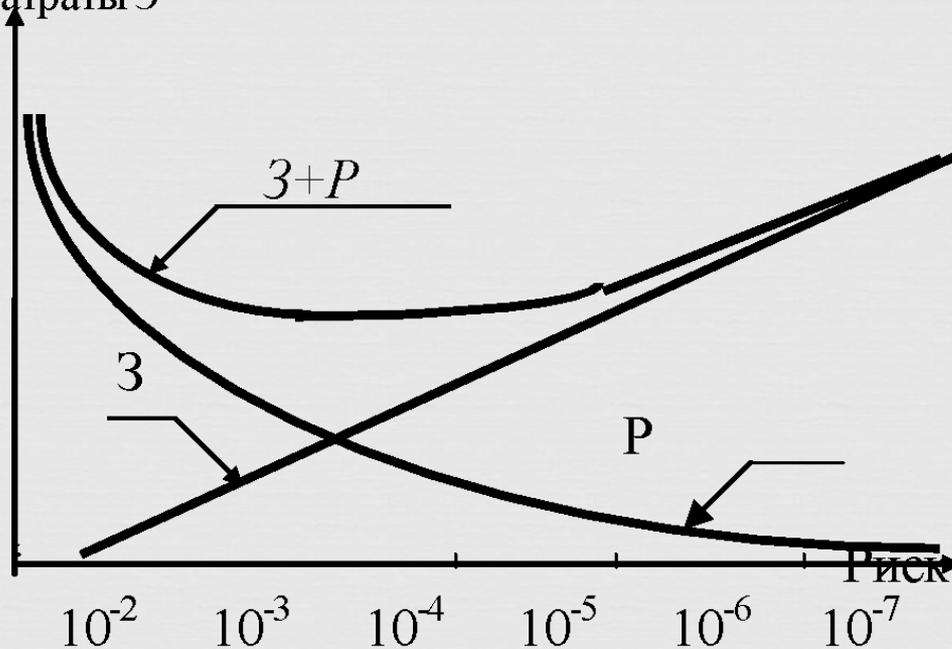
Вероятность смертельного  
исхода



Наибольшим уровнем приемлемого риска принят естественный уровень смертности, равный  $10^{-2}$ , как мы уже видели раньше, а за наименьший уровень принят риск смерти от естественных природных факторов, равный примерно  $10^{-7}$ .

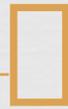
# Зависимость между расходами на снижение риска (затраты $Z$ ) и снижением потерь от риска $P$

Величины потерь от риска  $P$  и затраты  $Z$



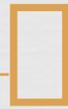
- Для уменьшения риска при внедрении новых технологий и техники требуется увеличивать затраты на обеспечение безопасности. Установлено, что затраты растут линейно, а риск уменьшается по экспоненциальному закону

# Экономическая польза



- Суммарная зависимость затрат и потерь имеет явно выраженный минимум. Меры управления риском вводятся в соответствии с этим минимумом, однако при этом должны соблюдаться еще два условия: 1 – обеспечиваемый уровень риска должен быть приемлемым; 2 – величина экономической  $B$  пользы должна быть больше нуля.
- Международный комитет по радиационной защите разработал концепцию «польза-вред». Согласно этой концепции, конкретное средство защиты или мероприятие должно применяться только в том случае : если экономическая польза от его использования будет превышать затраты на его внедрение.

# Экономическая польза

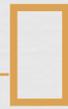


- Величина экономической пользы в денежном выражении  $V$  определяется как:

$$B = V - (P+X+Y)$$

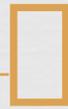
- где  $B$  – чистая польза,  $V$  – максимально возможная полная польза,  $P$  – расходы на производство,  $X$  – расходы на обеспечение выбранного уровня безопасности,  $Y$  – ущерб. Очевидно, что критерием оптимального защитного мероприятия или производства служит максимум величины  $B$ .

# Экономическая польза



- Совокупные затраты или потери  $(X+Y)$  складываются из затрат на защитные мероприятия и экономических потерь от ущерба здоровью (смерть, заболевание) вследствие аварий. При решении проблемы безопасности любой технической системы имеет место единственный уровень  $(X_{\text{олпт}})$ , при котором затраты минимальны. При недостаточных затратах  $(X < X_{\text{олпт}})$ , возможно появление больших ущербов. При больших затратах  $(X > X_{\text{олпт}})$ , затраты на средства защиты завышены и экономический эффект снижается.

# Экономическая польза



- Для оценки потерь от ущерба здоровью оценивают негативные изменения состояния здоровья, для которых доказана связь с воздействием изучаемых факторов. К негативным изменениям относят смертность, заболеваемость и т.д. Все показатели переводят в денежное выражение для экономического анализа. При учёте потерь также учитывают выплаты по временной нетрудоспособности, выплаты компенсаций, в том числе и за моральный ущерб, компенсации за утраченное имущество

# Социальные факторы



Социальная приемлемость риска зависит, помимо уже упомянутых экономических факторов, от социальных факторов.

К социальным факторам могут быть отнесены:

- – степень опасности профессиональной или иной деятельности;
- – количество людей, подвергающихся опасности;
- – продолжительность действия вредного фактора

# Приемлемость значений риска

- Приемлемость значений риска может быть определена путём сравнения риска летального исхода от различных причин, связанных как с профессиональной деятельностью, так и с другими видами деятельности человека. При этом рекомендуется использовать ориентировочную шкалу приемлемости риска и условий профессиональной безопасности

# Классификация условий профессиональной безопасности

## и шкала приемлемости риска

Категория	Условия профессиональной деятельности	Диапазон риска смерти (на человека в год)	Оценка приемлемости риска
I	Безопасные	$1 \cdot 10^{-4}$	Пренебрежимо малый уровень риска
II	Относительно безопасные	$1 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-3}$	Относительно невысокий уровень риска
III	Опасные	$1 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-2}$	Высокий уровень риска, рекомендуется принятие мер безопасности
IV	Особо опасные	$1 \cdot 10^{-2}$	Исключительно высокий уровень риска, необходимо принятие мер защиты

# Приемлемость риска

---

- Условия профессиональной деятельности с уровнем риска  $1 \cdot 10^{-3}$  –  $1 \cdot 10^{-2}$  считаются опасными и обязательно требуют принятия мер безопасности.
- Считают, что риск смерти при любом виде деятельности не должен превышать обычного уровня риска смерти, т.е.  $10^{-2}$  на человека в год. Это фактически означает, что любые виды деятельности современного человека, имеющие такую степень риска, не могут считаться социально приемлемыми, хотя для добровольного риска не существует какого-либо

# Оценка приемлемости риска

- Для оценки приемлемости риска любых видов деятельности используют вероятностные критерии Эшби. Они представляют собой вероятности одного фатального случая в год обусловленного той или иной деятельностью.
- Степень опасности для общества определяется не только уровнем опасности для определенных лиц, но и количеством вовлечённого населения. Очевидно, что чем больше населения вовлечено в какую-то деятельность или может пострадать от какой-то технологии, тем более высокие требования должны быть предъявлены к безопасности и тем меньший индивидуальный риск должен быть обеспечен.

# Критерии приемлемости риска (по ЭШБИ)

Ранг риска	Вероятность одной смерти в год	Степень приемлемости
1	Не менее $1 * 10^{-3}$	Риск неприемлем
2	Порядка $10^{-4}$	Риск приемлем лишь в особых обстоятельствах
3	Порядка $10^{-5}$	Требуется детальное обоснование приемлемости
4	Порядка $10^{-6}$ и менее	Риск приемлем без ограничений

# Психологические факторы

---

К психологическим факторам можно отнести:

- – осведомлённость или информированность об опасности;
- – добровольность или принудительность риска;
- – новизну технологии или вида деятельности.

# *Количественные оценки рисков*



# Количественные оценки рисков

---

- В классическом смысле риск понимают как вероятность человеческих жертв или травм и повреждений человека и материальных потерь.
- Подход к анализу риска построен на классическом принципе определения относительных частот событий при длительных испытаниях. Этот риск может быть определён на основе теоретических расчётов или на основе экспериментальных данных.
- При анализе риска, связанного с эксплуатацией технических систем в любом случае необходимы данные наблюдений или исследований работы существующих устройств и систем. При анализе риска для здоровья или жизни человека также нужны данные наблюдений.

# Количественные оценки рисков

Например, риск любого человека погибнуть в автомобильных катастрофах для населения любой страны может быть определён, в соответствии с формулой, как отношение числа людей погибших за год в автомобильных катастрофах к численности населения данной страны:

$$R_{ca} = \frac{N_{ca}}{N}$$

где  $R_{ca}$  – риск смерти в автомобильной катастрофе,  $N_{ca}$  – число людей, погибших в автомобильных катастрофах за год (потери),  $N$  – численность населения страны.

# Практический пример



В США в автомобильных катастрофах по статистике погибает 50000 человек в год, население США составляет 200 миллионов человек, откуда:

$$R_{ca} = \frac{50000}{200000000} = 2,5 \times 10^{-4} .$$

# Практические формулы

---

В примере с автомобильными авариями можно также оценить риск гибели на аварию  $R_{ca}$ . Для этого должно быть известно общее число аварий  $N_a$ :

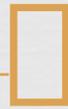
$$R_{ca} = \frac{N_{ca}}{N_a} .$$

При общем числе аварий в США 50 миллионов в год риск смерти на одну аварию составит  $10^{-3}$ .

Зная риск смерти на одну аварию можно оценить потери человеческих жизней в авариях:

$$N_{ca} = R_{ca} \cdot N_a .$$

# Виды рисков



- При вычислении риска используются такие понятия, как: базовый риск, дополнительный риск и общий или суммарный риск.
- Базовый риск  $R_{\bar{b}}$  это риск, который существует для людей без относительно какого-либо источника риска (например, естественный риск смерти).
- Дополнительный риск  $R_{\bar{d}}$  это риск, обусловленный каким-то определенным источником риска (например, риск смерти в автомобильной катастрофе, риск смерти за счет загрязнения окружающей среды в большом городе и т. п.).
- Суммарный риск  $R_{\text{сум}}$  это риск равный сумме базового и дополнительного рисков

$$R_{\text{сум}} = R_{\bar{b}} + R_{\bar{d}} .$$

# Случайные явления



Величина риска имеет стохастическую природу и определяется целым рядом случайных явлений. Оценивая величину техногенного риска  $R_T$ , необходимо учитывать те случайные явления, которые влияют на его величину. Такими случайными явлениями при оценке техногенного риска в общем случае являются:

- – вероятность  $R_{та}$  возникновения техногенной аварии;
- – степень негативного воздействия на человека и на окружающую среду медленно протекающих процессов и вероятность  $R_k$  возникновения кризисной или катастрофической экологической обстановки;
- – климатические и метеорологические условия, которые также могут быть выражены вероятностью  $R_{му}$  определённых метеоусловий на рассматриваемый момент времени;
- – вероятность  $R$  попадания населения (или

# Величина техногенного риска

---

- Учитывая, что все рассматриваемые явления являются статистически независимыми, величину техногенного риска можно определить в соответствии с теоремой умножения независимых событий, как

$$R_m = R_{та} * R_k * R_{му} * R_n .$$

# Величина техногенного риска

Так оценивая величину техногенного риска  $R_{m'}$  создаваемого, например, аварией на химическом предприятии для сотрудников и населения, необходимо учесть:

- – вероятность  $R_{ma}$  возникновения техногенной аварии, которая приведёт к выбросу опасных веществ и загрязнению только атмосферного воздуха (возможно также загрязнение вод и почв);
- – вероятность  $R_{mu}$  определённых метеорологических условий на момент аварии: температура, направление и скорость ветра, дождь или снег и другие метеофакторы;
- – вероятность  $R_n$  того, что в зону распространения зараженного воздуха попадет определённое

# Величина техногенного риска

---

Учитывая, что все перечисленные факторы являются статистически независимыми событиями, величина техногенного риска в данном случае будет определяться как произведение трех составляющих

$$R_m = R_{та} * R_{му} * R_n .$$

Если опасные события являются зависимыми или появление опасного события обусловлено другими явлениями, тогда при вычислении риска необходимо использовать формулы для вычисления условных вероятностей.