

На правах рукописи

**КОЗЛИТИН**  
**Анатолий Мефодьевич**

**РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ И МЕТОДОВ ОЦЕНКИ  
РИСКОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ  
БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОГО  
КОМПЛЕКСА**

Специальность 05.26.03. – «Пожарная и промышленная  
безопасность»  
(Нефтегазовая отрасль)

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Уфа - 2006

Работа выполнена в Саратовском государственном техническом университете.

Научный консультант                      доктор технических наук, профессор,  
Попов Анатолий Иванович.

Официальные оппоненты:              доктор технических наук  
Хуснияров Мират Ханифович;  
  
   доктор технических наук, профессор,  
Нугаев Раис Янфурович;  
  
   доктор технических наук  
Елохин Андрей Николаевич.

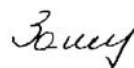
Ведущая организация                      Российский государственный университет  
нефти и газа им. И.М.Губкина.

Защита состоится 10 февраля 2006 года в 10-00 на заседании диссертационного совета  
Д 212.289.05 при Уфимском государственном нефтяном техническом университете  
по адресу: 450062, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уфимского государственного  
нефтяного технического университета.

Автореферат разослан « 22 » декабря 2005 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Закирничная М.М.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** Ускорение темпов и расширение масштабов производственной деятельности в современных условиях неразрывно связано с возрастающим использованием энергонасыщенных технологий и опасных веществ. В результате возрастает потенциальная угроза для здоровья и жизни людей, окружающей среды, материальной базы производства.

В первую очередь это относится к объектам нефтегазового комплекса, где наблюдаются постоянная интенсификация технологий, связанная с возрастанием температур и давлений, укрупнение единичных мощностей установок и аппаратов, наличие в них больших запасов взрыво-, пожаро- и токсикоопасных веществ.

Отсюда, как следствие, возможен рост числа аварий со все более тяжелыми социальными, экономическими и экологическими последствиями.

Поскольку наряду с природными катастрофами увеличивается число техногенных аварий, к середине наступившего столетия может оказаться, что в совокупности они будут нивелировать усилия по развитию экономики. Поэтому большинство развитых стран переходит на новую стратегию обеспечения безопасности, основанную на принципах прогнозирования и предупреждения техногенных аварий.

В этой связи можно утверждать, что оценка риска и разработка мероприятий по снижению последствий техногенных аварий являются фундаментальной научной основой достижения устойчивого развития общества.

В связи с этим задачи развития теории и методов оценки рисков и выработки научно обоснованных методов управления безопасностью объектов нефтегазового комплекса становятся особо актуальными.

Актуальность и важность представленного исследования подтверждается участием автора в выполнении научно-технической программы Министерства образования Российской Федерации «Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники» 2000 – 2003 гг.

**Целью работы** является развитие теории и методов комплексного анализа уровня опасности сложных технических систем на основе интегрированного риска для повышения промышленной безопасности опасных производственных объектов на примере объектов нефтегазового комплекса.

Для достижения поставленной цели в работе **решались следующие основные задачи:**

1. Разработка методологии количественной оценки интегрированного риска, в том числе теоретическое обоснование и методическое определение комплексного показателя потенциальной опасности объектов нефтегазового комплекса.
2. Развитие теории и аналитических методов количественной оценки риска последствий возможных аварий на объектах нефтегазового комплекса.
3. Теоретическое обоснование и применение физико-математических моделей развития аварийных процессов и распространения поражающих факторов в окружающей среде.

4. Разработка методов анализа опасности возможных аварийных ситуаций в составе планов локализации и ликвидации аварийных ситуаций (ПЛАС) на объектах нефтегазового комплекса.

5. Разработка методов анализа и выполнение количественной оценки интегрированного риска установок нефтеперерабатывающих предприятий с учетом технологических особенностей, схемных решений, специфики возникновения и развития аварийных и чрезвычайных ситуаций.

6. Разработка методов и выполнение анализа риска аварий в составе проектной документации на примере проектов реконструкции опасных производственных объектов.

7. Разработка методов анализа безопасности и оценки интегрированного риска функционирования трубопроводного транспорта нефтегазового комплекса.

#### **Научные положения, выносимые на защиту:**

1. Теория и методы комплексного анализа уровня опасности сложных технических систем, разработанные с учетом специфики опасных производственных объектов нефтегазовой отрасли.

2. Математическая модель и метод количественной оценки интегрированного риска.

3. Методика картирования потенциального, индивидуального и коллективного риска, позволяющая получить пространственное распределение уровней каждого из рисков.

4. Методика построения регрессионной модели технического риска, с учетом взаимосвязи физических и вероятностных процессов в технической системе.

5. Математические модели параметрических и координатных законов токсического и фугасного поражения реципиента.

6. Анализ риска аварий, выполненный в декларациях промышленной безопасности, в составе проектной документации, в составе планов локализации и ликвидации аварийных ситуаций ряда действующих и проектируемых опасных производственных объектов нефтегазового комплекса.

#### **Научная новизна** работы заключается в следующем:

1. Впервые поставлена и решена научная проблема комплексного анализа уровня опасности объектов нефтегазовой отрасли на основе интегрированного риска возникновения и развития аварий в сложных технических системах, выраженного в едином стоимостном эквиваленте и объединяющего риски социального, материального и экологического ущербов.

2. Разработан метод количественной оценки интегрированного риска, основанный на использовании стохастической модели возникновения и развития аварии в сложной технической системе, локальных характеристик степени воздействия поражающих факторов на реципиента в форме координатных и параметрических законов поражения, а также удельных стоимостных характеристик прямых потерь и цены спасения жизни человека.

3. Разработана и доведена до практического применения оригинальная методика картирования потенциального, индивидуального и коллективного риска, позволяющая на основе учета стохастических процессов возникновения, развития и воздействия поражающих факторов аварии, получить пространственное распределение уровней каждого из рисков и выявить зоны, в пределах которых необходимо принятие определенных мер, направленных на повышение уровня промышленной безопасности.

4. Предложена и используется на практике методика, позволяющая на основе декомпозиции возможной аварийной ситуации и метода регрессионного анализа построить для рассматриваемой сложной технической системы модель технического риска, определяющую опасность объекта как источника аварийных выбросов с помощью кривой плотности распределения относительных частот.

5. Показано, что задачи оценки последствий воздействия поражающих факторов на реципиента могут быть сведены к моделированию ситуации с помощью распределения Вейбулла. Выполнен анализ эмпирико-статистических данных о характере воздействия поражающих факторов на человека, технологическое оборудование, здания и сооружения, и получены аналитические зависимости параметрических и координатных законов поражения реципиента, в основу которых положено трехпараметрическое распределение Вейбулла. Определены численные значения параметров соответствующих параметрических и координатных законов поражения реципиента.

6. Разработана и теоретически обоснована методика технико-экономического расчета эффективности инженерных решений обеспечения безопасности объектов нефтегазового комплекса, в которой предложен критерий выбора решений, направленных на повышение уровня промышленной безопасности, включающий величину интегрированного риска.

7. Обоснован метод анализа риска аварий с возникновением гидродинамической волны прорыва на нефтяных резервуарах. Построена модель гравитационного растекания цилиндрического слоя жидкости, и разработана методика оценки времени добегающей горячей гидродинамической волны прорыва до рассматриваемой точки территории.

**Практическая ценность** работы заключается в разработке:

- методик картирования на топографической карте прилегающих селитебных территорий потенциального, индивидуального и коллективного риска гибели людей при авариях на потенциально опасных объектах нефтегазового комплекса;
- методики анализа и количественной оценки риска перехода аварийной ситуации в технологическом блоке установки на более высокий по степени опасности и ожидаемым последствиям уровень «Б» для разработки ПЛАС;
- методики расчета высотных взрывов газопаровоздушных смесей при залповых выбросах горючей среды на большой высоте из колонных аппаратов;

- методики анализа риска аварий с формированием гидродинамической волны прорыва на нефтяных резервуарах.

Основные результаты выполненных теоретических исследований и разработанные методики внедрены в ОАО «Саратовский НПЗ» и ОАО «Саратовнефтепродукт» для использования при анализе и количественной оценке риска аварий в декларациях промышленной безопасности, в планах по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов, в планах локализации и ликвидации аварийных ситуаций.

Практическая ценность работы также заключается в использовании теоретических положений и разработанных методик при проведении практических занятий по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» для студентов всех специальностей Саратовского государственного технического университета.

**Методы исследования.** В основу теоретических исследований были положены методы и концепции теории вероятностей и математической статистики, теории подобия и математического моделирования, теории матриц и теории множеств, исследования операций, системного технико-экономического анализа, декомпозиции развития возможных аварийных ситуаций, выявления закономерностей, описания, обобщения.

Моделирование и расчеты, связанные с анализом и количественной оценкой риска, проведены с использованием методов и средств вычислительной техники и технологий современного анализа данных на компьютере в математических системах: Mathcad 11A, Maple 9XP, Statistica 6, SPSS 11, Statgraphics Plus 5 и других.

**Апробация результатов работы.** Основные результаты диссертационной работы докладывались на 18 международных, всероссийских, региональных, вузовских научно-технических конференциях и тематических семинарах, в том числе:

- Международной конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы охраны окружающей среды - ПООС-95» (Томск, 1995);

- II Международной научной конференции «Mechanizmy i Uwarunkowania Ekogozwoju» (Белосток, Польша, 1998);

- 4-й Международной конференции Российского отделения Международного общества экологической экономики «Природа и общество на рубеже нового тысячелетия: Глобализация и региональные эколого-экономические проблемы» (Саратов, ISEE/RC, 1999);

- Международной научно-технической конференции «Международные проекты по решению экологических проблем на территории Саратовской области» (Саратов, СГТУ - Белостокский технический университет, Польша, 2001);

- 7-й Международной конференции Российского отделения Международного общества экологической экономики «Глобализация, новая экономика и окружающая среда: Проблемы общества и бизнеса на пути к устойчивому развитию» (Санкт-Петербург, ISEE/RC, 2005);

- Всероссийской конференции «Научные аспекты экологических проблем России» (Москва, РАН, 2001);
- 3, 4 и 5-м Всероссийских тематических семинарах «Об опыте декларирования промышленной безопасности и страхования ответственности. Развитие методов оценки риска аварий на опасных производственных объектах» (Москва, 2002, 2003 и 2004);
- Всероссийской научно-практической конференции «Экологические проблемы промышленных городов» (Саратов, 2003);
- тематическом семинаре Департамента предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций МЧС России «О новых требованиях по предупреждению чрезвычайных ситуаций на потенциально опасных объектах и объектах жизнеобеспечения. Проблемы оценки риска, декларирования безопасности, страхования ответственности за причинение вреда при эксплуатации опасных объектов» (Москва, 2003);
- региональной научно-практической конференции «Проблемы автомобильного комплекса Саратовской области и пути их решения» (Саратов, 1996);
- научно-практической конференции «Безопасность больших городов» (Москва, 1997);
- научно-практической конференции «Декларирование безопасности и страхование гражданской ответственности потенциально опасных предприятий Саратовской области» (Саратов, 1996);
- 4-й и 9-й ежегодных итоговых научно-практических конференциях Саратовского регионального отделения Российской экологической академии (Саратов, 1998 и 2003);
- 6-й научно-технической конференции РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина «Актуальные проблемы состояния и развития нефтегазового комплекса России» (Москва, 2005);
- 58-й научно-технической конференции СГТУ (Саратов, 1994).

**Публикации.** Основные положения диссертации опубликованы в 50 печатных работах, в том числе 6 статьях в периодических научных и научно-технических изданиях из перечня ВАК РФ, 3 монографиях, 5 статьях в зарубежных периодических изданиях, 36 статьях в международных и межвузовских сборниках научных трудов и материалах научных конференций.

**Структура и объем работы.** Работа состоит из введения, 7 глав, общих выводов и списка использованной литературы из 325 наименований. Содержит 395 страниц, 88 таблиц, 142 рисунка.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость работы. Проведен обзор опубликованных работ по известным методам оценки и обоснования промышленной безопасности опасных производственных объектов. Обсуждены различные

подходы к анализу опасностей и оценки риска промышленных аварий и катастроф, оценены их достоинства и недостатки. Отмечено, что методология учета безопасности при обосновании технических и управленческих решений по действующим и проектируемым объектам нефтегазового комплекса до сих пор остается не до конца разработанной, несмотря на самое пристальное внимание исследователей. Нет достаточных оснований считать, что эти вопросы нашли окончательное решение и за рубежом.

Основу исследований в диссертационной работе составили теоретические и практические труды в области анализа опасностей и оценки риска промышленных аварий, отечественных и зарубежных ученых, в числе которых: М.В. Бесчастнов, Н.Н. Брушлинский, А.А. Быков, А.Н. Елохин, В.А. Еременко, Р.Х. Идрисов, А.В. Измалков, В.И. Измалков, В.А. Котляревский, И.Р. Кузеев, И.И. Кузьмин, Х. Кумамото (Hiromitsu Kumamoto), В.И. Ларионов, В.А. Легасов, М.В. Лисанов, И.И. Мазур, В. Маршалл (V.C. Marshall), Н.А. Махутов, Г.Э. Одишария, С.М. Пайтерсен (С.М. Pietersen), А.С. Печеркин, А.И. Попов, Б.Е. Прусенко, В.С. Сафонов, В.И. Сидоров, И.С. Таубкин, Э. Дж. Хенли (Ernest J. Henley), А.Н. Черноплеков, А.А. Шаталов, А.А. Швыряев и ряд других крупных специалистов, преимущественно в области промышленной безопасности.

**В первой главе** выполнен анализ и дано критическое осмысление общих теоретических принципов и основных положений современной концепции промышленной безопасности техносферы, изложены подходы автора к разрабатываемым в диссертации методам количественной оценки техногенных рисков и обоснованию инженерных решений, направленных на повышение промышленной безопасности в нефтегазовой отрасли. Получен комплекс математических моделей, и разработаны аналитические методы квантификации и анализа риска промышленных предприятий, как части управления промышленной безопасностью. Разработана методика определения экологических рисков на межобъектовых нефтепроводах, предложена и реализована математическая модель расчета риска развития аварии на прилегающей к объекту территории с возможным загрязнением экосистем с учетом параметрического закона их поражения. Выполнен анализ показателей уровня опасности промышленных аварий на объектах техносферы, и предложены для использования в расчетах критерии риска.

В плане развития теории техногенного риска разработана методика технико-экономического обоснования инженерных решений обеспечения безопасности объектов нефтегазового комплекса. Предложен достаточно универсальный и приемлемый критерий выбора решений, направленных на изменение уровня промышленной и экологической безопасности, включающий величину интегрированного риска - комплексного показателя потенциальной опасности объекта, выраженного в едином стоимостном эквиваленте и позволяющего применить механизм исчисления экономической эффективности при сравнительном анализе по уровню промышленной безопасности конкурирующих вариантов на этапе проектирования, мо-



дернизации или реконструкции потенциально опасных производств нефтегазового комплекса. С учетом факторов промышленной безопасности математическая модель интегрированного риска имеет вид:

$$\begin{cases} R(Y_{\Sigma}) = R(Y_C) + R(Y_M) + R(Y_{\text{э}}); \\ R(Y_C) = \sum_{j=1}^n \sum_{s=1}^m \sum_{k=1}^{\omega} R(E_C)_{ijsk} \cdot N_{ij} \cdot P(N)_{ij} \cdot Y_{Ck}; \\ R(Y_M) = \sum_{j=1}^n \sum_{s=1}^m \sum_{r=1}^{\alpha} R(E_M)_{ijsr} \cdot Y_{Mijr}; \\ R(Y_{\text{э}}) = \sum_{j=1}^n \sum_{s=1}^m \sum_{q=1}^{\eta} R(E_{\text{э}})_{ijsq} \cdot Y_{\text{э}ijq}; \quad Y_{\text{э}q} = b_q^{\text{lim}} \cdot K_q^{\text{In}} \cdot C_q, \end{cases} \quad (1)$$

где  $R(Y_C)$ ,  $R(Y_M)$ ,  $R(Y_{\text{э}})$  - риск социального, материального и экологического ущерба, соответственно;  $R(E_C)_{ijsk}$ ,  $R(E_M)_{ijsr}$ ,  $R(E_{\text{э}})_{ijsq}$  - потенциальный риск, соответственно, для  $k$ -й степени поражения индивидуума,  $r$ -й степени разрушения материального объекта и  $q$ -й компоненты экосистемы на рассматриваемой элементарной площадке территории с  $ij$ -координатами вследствие воздействия  $s$ -го поражающего фактора;  $N_{ij}$  - количество людей с примерно одинаковыми условиями поражения и временем пребывания на рассматриваемой  $ij$ -й элементарной площадке территории;  $P(N)_{ij}$  - вероятности нахождения данных людей на рассматриваемой  $ij$ -й элементарной площадке территории;  $Y_{Ck}$  - денежный эквивалент  $k$ -й степени поражения индивидуума (летальный исход, нетрудоспособность, серьезные травмы, травмы средней и легкой тяжести);  $Y_{Mijr}$  - материальный ущерб в денежном исчислении для  $r$ -й степени разрушения материального объекта на рассматриваемой  $ij$ -й элементарной площадке территории;  $Y_{\text{э}ijq}$  - удельный экологический ущерб для  $q$ -й компоненты экосистемы на рассматриваемой  $ij$ -й элементарной площадке территории;  $b_q^{\text{lim}}$  - повышающий коэффициент за сверхлимитное загрязнение  $q$ -й компоненты экосистемы;  $K_q^{\text{In}}$  - коэффициент индексации при оценке ущерба для  $q$ -й компоненты экосистемы;  $C_q$  - комплекс, определяющий ставку платы за загрязнение  $q$ -й компоненты экосистемы;  $n$  - число рассматриваемых элементарных площадок территории с  $ij$ -координатами, расположенных в пределах круга вероятного поражения;  $m$  - число возможных поражающих факторов, формирующихся в результате реализации на объекте существующих опасностей (взрыв, пожар, выбросы химически опасных веществ);  $\alpha$  - число степеней поражения;  $\omega$  - число составляющих материального ущерба;  $\eta$  - число составляющих экологического ущерба.

Потенциальный риск  $R(E)$ , входящий в качестве множителя в уравнение (1), является вероятностной величиной и характеризует потенциал возможной опасности поражения реципиента на рассматриваемой  $ij$ -й элементарной площадке территории при условии возникновения аварийной ситуации на опасном производственном объекте (ОПО). При этом уровень потенциального риска на указанной элементарной площадке, прилегающей к объекту территории, зависит от целого ряда случайных событий, совокупность которых может привести к поражению реципиента. Случайные события разделены на две группы.

Первая группа событий относится к технической системе, то есть потенциально опасному объекту, и характеризует стохастический процесс реализации опасности (бесконтрольное высвобождение энергии или утечка вредных веществ). Основным показателем

телем тяжести последствий реализовавшейся опасности является масса вещества ( $M$ ), участвующая в создании поражающих факторов. Величина массы аварийного выброса является случайной величиной и характеризуется соответствующим вероятностным распределением с плотностью  $f(M)$ .

Вторая группа - характеризует стохастический процесс поражения реципиента на рассматриваемой  $ij$ -й элементарной площадке, прилегающей к объекту территории при условии возникновения аварийной ситуации на ОПО, и описывается условной вероятностью координатного поражения реципиента  $P(\Gamma/M)$ .

Основываясь на сказанном, потенциальный риск представлен интегральной формулой полной вероятности, отвечающей существу проблемы анализа потенциальной опасности промышленного объекта и позволяющей рассчитать риск на любой заданной площадке рассматриваемой территории с учетом технологических и технических особенностей, схемных решений, специфики возникновения и развития аварийных ситуаций. В общем случае потенциальный риск выражается следующей зависимостью:

$$R(E) = \int_{M_{\min}}^{M_{\max}} f(M) \cdot P(\Gamma/M) dM, \quad (2)$$

где  $f(M)$  - плотность распределения аварийных выбросов на объекте;  $P(\Gamma/M)$  - вероятность поражения реципиента в рассматриваемой точке территории при условии аварийного выброса опасного вещества (определяется координатным законом поражения реципиента);  $\Gamma$  - расстояние от места аварии до рассматриваемой точки территории;  $M$  - масса аварийного выброса опасного вещества;  $[M_{\min}, M_{\max}]$  - диапазон изменения массы аварийных выбросов на потенциально опасном объекте.

Функция  $f(M)$ , построенная для различных сценариев аварий с учетом массива данных по вероятности  $\|P_{ij}\|$  и массе аварийного выброса  $\|M_{ij}\|$ , является базовой характеристикой технической системы, определяющей опасность объекта как источника аварийных выбросов. Для определения величин  $P_{ij}$  использованы инженерные методы оценки вероятности аварии и методы анализа статистических данных.

По своей сути функция  $f(M)$  определяет технический риск  $R_T = \int_{M \in [\alpha, \beta]} f(M) dM$  - вероятность аварий в рассматриваемой сложной технической системе с последствиями определенного уровня  $M \in [\alpha, \beta]$  за определенный период функционирования, как правило, за год.

Разработана, обоснована и практически используется оригинальная методика, позволяющая на основе декомпозиции возможной аварийной ситуации и метода регрессионного анализа определить для рассматриваемой сложной технической системы модель и параметры функции  $f(M)$  - технического риска системы (рис. 1).

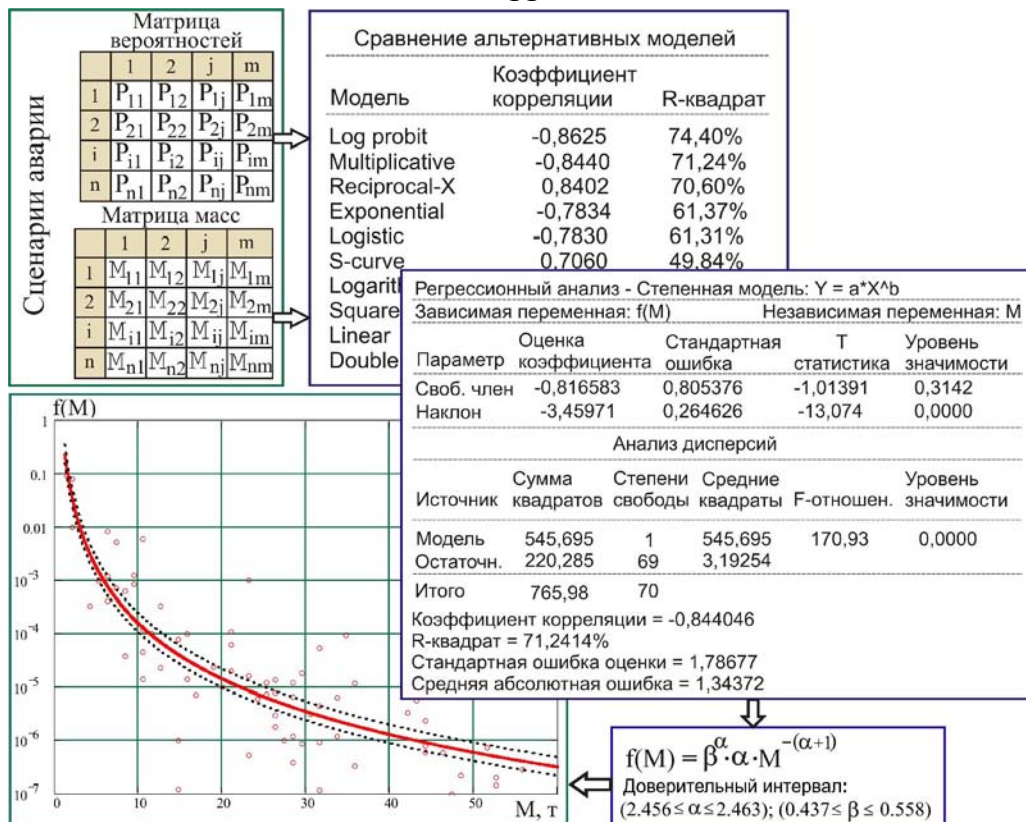


Рис.1. Регрессионный анализ технической системы

На следующем этапе количественной оценки потенциального риска  $R(E)$  рассматриваются события, связанные с воздействием поражающих факторов аварии на реципиента (человека, материальные объекты, экосистемы) в рассматриваемой  $ij$ -й области прилегающей территории. При этом вероятность поражения реципиента в этой области определяется принятым в расчетах параметрическим законом поражения, зависящего от характера процесса и параметров поражающего фактора в рассматриваемой области территории.

Математическая модель и количественная интерпретация параметрического закона поражения определяются природой и конкретным механизмом действия поражающего фактора, а также видом и состоянием реципиента.

Показано, что задачи оценки последствий воздействия поражающих факторов на реципиента могут быть сведены к моделированию ситуации с помощью трехпараметрического распределения Вейбулла.

Выполнен анализ эмпирико-статистических данных о характере воздействия поражающих факторов на человека, технологическое оборудование, здания и сооружения и получены аналитические зависимости параметрических законов поражения реципиента, в основу которых положено трехпараметрическое распределение Вейбулла. Определены численные значения параметров соответствующих параметрических законов поражения реципиента.

На рис.2, в качестве примера, приведены параметрические законы поражения человека.

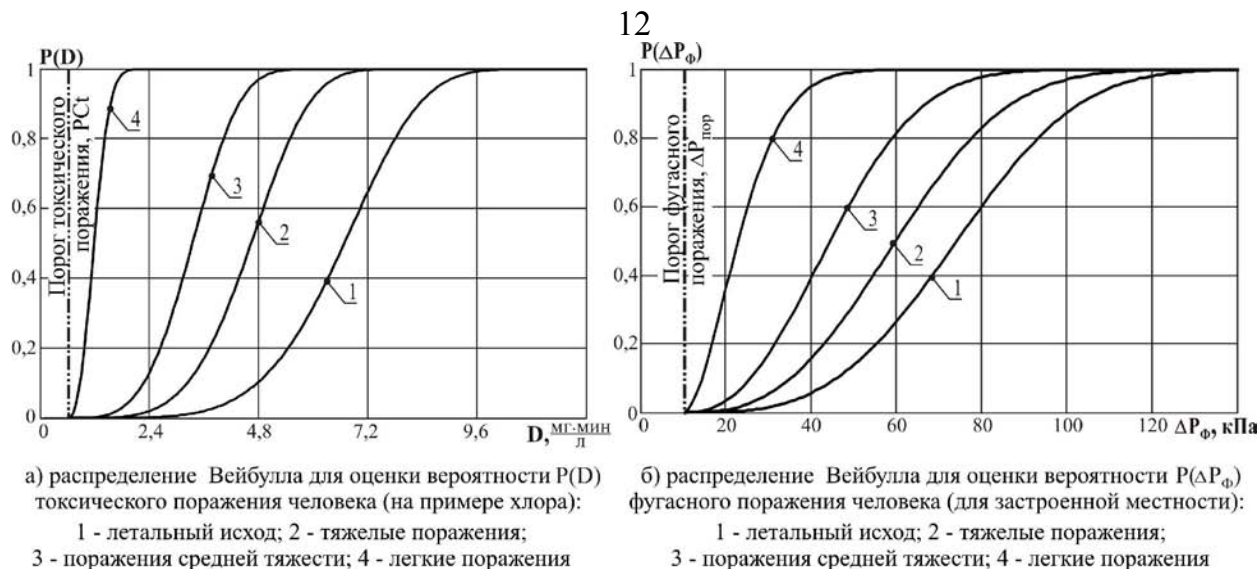


Рис.2. Параметрические законы токсического и фугасного поражения человека

При решении проблем промышленной безопасности обоснование показателей риска от какого-либо объекта проводится в пределах зоны острых воздействий – круга вероятного поражения (КВП). В качестве КВП при авариях на опасных нефтегазовых объектах рассматривается территория, ограниченная изолинией с пороговыми значениями рассматриваемого поражающего фактора (ПФ) для токсодозы  $PSt$ , избыточного давления  $\Delta P_{пор}$  или интенсивности теплового излучения  $J_{пор}$ .

Рассматриваемые события поражения человека (смертельный исход, тяжелая, средняя и легкая степени поражения) являются несовместными событиями, так как человек не может одновременно погибнуть, получить поражение той или иной степени тяжести или остаться не пораженным.

Для решения данной проблемы и расчета числовых характеристик различных последствий поражающего воздействия, определяющих структуру ожидаемых потерь на прилегающей к объекту территории, получена система функций, описывающих параметрический закон поражения для полной группы событий.

Зная параметрический закон поражения человека, мы не можем судить о характере распределения потенциального риска на прилегающей территории. Для оценки последствий аварий необходимо знать, как изменяется вероятность поражения человека по мере удаления от источника опасности, то есть от параметрического закона необходимо перейти к координатному закону поражения человека. Для решения данной задачи в диссертации использовались математические модели распространения поражающих факторов (дозы  $D$  или избыточного давления  $\Delta P_\phi$ ) и метод обратных функций распределения. На основе вышесказанного автором получены аналитические зависимости для координатных законов токсического и фугасного поражения человека, представленные функциями распределения следующего вида:

а) для токсического поражения

$$P(\Gamma) = \begin{cases} 1 & \text{при } 0 < \Gamma \leq \Gamma_{LCt_{100\%}} \\ 1 - \exp\left[-\left(\frac{\psi(\Gamma) - PCt}{\sigma}\right)^\gamma\right] & \text{при } \Gamma_{LCt_{100\%}} < \Gamma \leq \Gamma_{PCt}, \end{cases} \quad (3)$$

б) для фугасного поражения

$$F(\Gamma) = \begin{cases} 1 - \exp\left[-\left(\frac{\Delta P_{\max}}{\eta}\right)^\xi\right] & \text{при } 0 < \Gamma \leq r_{\text{обл}} \\ 1 - \exp\left[-\left(\frac{\Delta P(\Gamma) - \Delta P_{\text{пор}}}{\eta}\right)^\xi\right] & \text{при } r_{\text{обл}} < \Gamma \leq \Gamma(\Delta P_{\text{пор}}), \end{cases} \quad (4)$$

где  $\sigma$ ,  $\gamma$ ,  $PCt$  и  $\eta$ ,  $\xi$ ,  $\Delta P_{\text{пор}}$  - параметры трехпараметрических законов распределения Вейбулла соответственно для токсического и фугасного поражения;  $r_{\text{обл}}$  - радиус облака газопаровоздушной смеси (ГПВС).

В пределах зоны абсолютной смертности  $0 > \Gamma \leq \Gamma_{LCt_{100\%}}$ , при получении человеком токсодоз  $\psi(\Gamma) \geq LCt_{100\%}$ , превышающих абсолютно смертельную для рассматриваемого ядовитого вещества, летальный исход вследствие возможной аварии на ОПО можно считать достоверным событием с вероятностью  $P(\Gamma) = 1$ .

При взрывах газопарового облака в «открытых», неограниченных пространствах максимальное избыточное давление может изменяться в широких пределах и зависит в значительной степени от вида горючего вещества и режима взрывного превращения облака ГПВС. В этой связи, для координатных законов фугасного поражения человека, вероятности летального исхода  $F(\Gamma)$  даже в пределах быстро сгорающего газопарового облака (дефлаграция) могут оказаться значительно меньше единицы. Данная особенность координатных законов фугасного поражения человека существенно отличает их от координатных законов токсического поражения, рис.3.

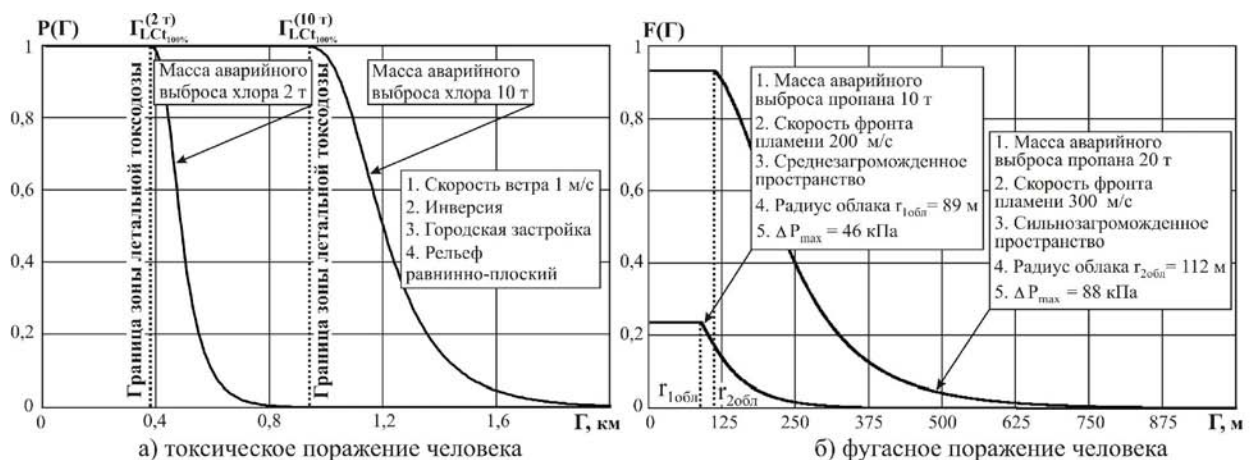


Рис.3. Координатные законы токсического и фугасного поражения человека

С учетом того, что при воздействии поражающего фактора на человека существует граничный (пороговый) уровень токсодозы или избыточного давления, ниже

которого вероятность летального исхода исчезающе мала, в уравнения (3) и (4) введены параметры граничного, порогового воздействия:  $P_{Ct}$  – пороговая токсодоза для рассматриваемого ядовитого вещества и  $\Delta P_{пор}$  – порог поражения избыточным давлением.

В качестве примера на рис. 4 показаны результаты расчетов распределения вероятностей летальных исходов вследствие токсического поражения человека на прилегающей к объекту территории (координатные законы поражения), при реализации максимальной гипотетической аварии с выбросом сжиженного хлора на реальном производственном объекте нефтегазового комплекса.

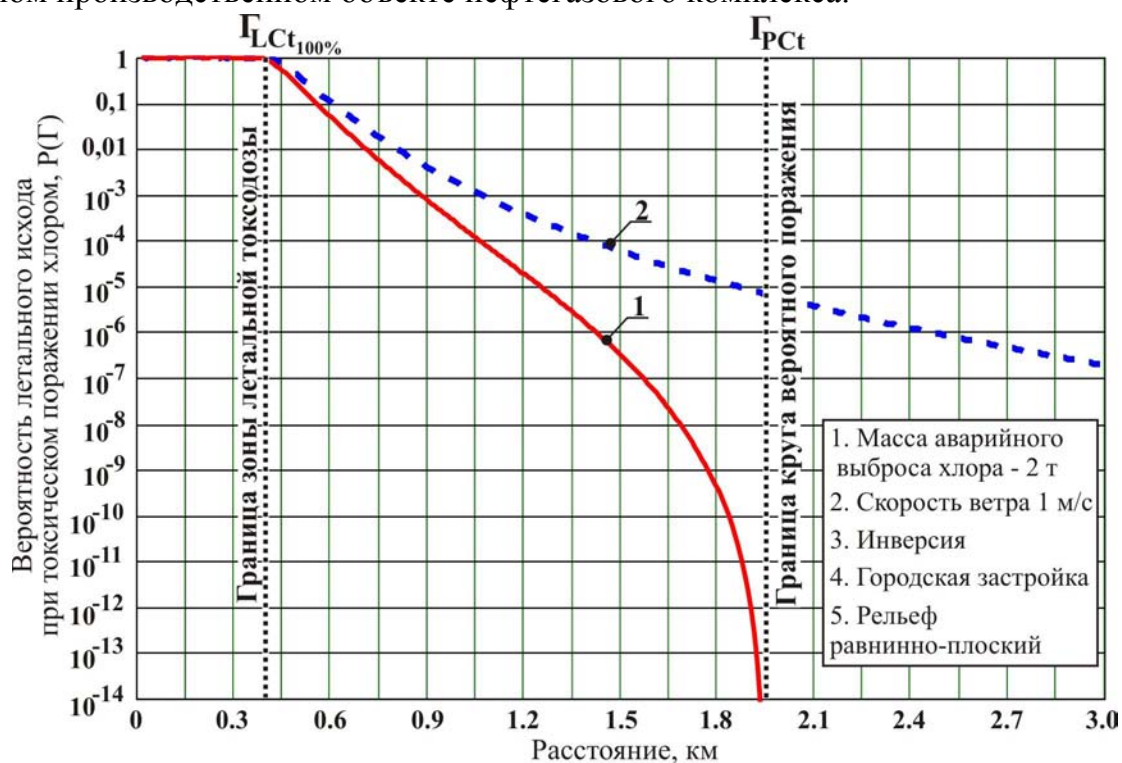


Рис.4. Координатные законы распределения вероятностей летальных исходов при поражении человека хлором на прилегающей к объекту территории:

- 1 – функция  $P(\Gamma)$ , учитывающая параметр порогового воздействия  $P_{Ct}$ ;  
 2 – функция  $P(\Gamma)$ , без учета параметра порогового воздействия  $P_{Ct}$

Из сравнительного анализа координатных законов, представленных на рис. 4, видно, что функция вероятностей летальных исходов  $P(\Gamma)$ , учитывающая параметр порогового воздействия  $P_{Ct}$ , стремится к нулю, при асимптотическом приближении к внешней границе КВП.

В другом случае, при  $P_{Ct} = 0$ , вероятность летальных исходов в результате токсического воздействия паров хлора остается значимой и за пределами КВП, что приводит, по мнению автора, к необоснованному завышению уровня опасности объекта.

При количественной оценке риска токсического поражения людей учитывались защитные свойства различного типа укрытий – зданий культурно-бытового и административного назначения, промышленных и жилых зданий и сооружений различ-

ного назначения. Обоснована и представлена математическая модель координатного закона токсического поражения человека для различных типов укрытий и времени их нахождения ( $t$ ) в зараженном воздухе, которая характеризуется функцией распределения следующего вида:

$$P_u(\Gamma, t) = \begin{cases} 1 & \text{при } K_{\text{ПР}}(t) \cdot \psi(\Gamma) \geq LCt_{100\%} \\ 1 - \exp\left[-\left(\frac{K_{\text{ПР}}(t) \cdot \psi(\Gamma) - PCt}{\sigma}\right)^\gamma\right] & \text{при } LCt_{100\%} > K_{\text{ПР}}(t) \cdot \psi(\Gamma) \geq PC, \end{cases} \quad (5)$$

где  $K_{\text{ПР}}(t) = \frac{t}{a \cdot t + b}$  – коэффициент проникания для рассматриваемого типа укрытия в функции времени  $t$  нахождения данного укрытия в зараженном воздухе;  $a, b$  – коэффициенты регрессионной модели, зависящие от типа укрытия ( $-0,28 \leq a \leq 0,83$  и  $0,55 \leq b \leq 5,08$  для времени  $t$  в часах).

Для решения задач прогнозирования фугасного воздействия взрыва на объект в диссертации получен на основе трехпараметрического распределения Вейбулла параметрический закон разрушений

$$G_{kj}(\Delta P_\phi) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{P_{n_{kj}}(\Delta P_\phi; \Delta P_{\text{lim}}) - \delta_{kj}(\Delta P_{\text{lim}})}{r_{kj}(\Delta P_{\text{lim}})}\right)^{\phi_k}\right], \quad (6)$$

где  $G_{kj}(\Delta P_\phi)$  – функция распределения вероятностей получения  $k$ -й степени разрушения  $j$ -м объектом в зависимости от давления  $\Delta P_\phi$ ;  $r_{kj}(\Delta P_{\text{lim}})$ ,  $\delta_{kj}(\Delta P_{\text{lim}})$ ,  $\phi_k$  – параметры параметрического закона для  $k$ -й степени разрушения  $j$ -го объекта;

$P_{n_{kj}}(\Delta P_\phi; \Delta P_{\text{lim}}) = \frac{\Delta P_\phi}{\Delta P_{\text{lim}_{kj}}}$  – коэффициент устойчивости  $j$ -го объекта к воздействию избыточного давления при рассматриваемых условиях;  $\Delta P_{\text{lim}_{kj}}$  – предельная величина избыточного давления для  $k$ -й степени разрушения  $j$ -го объекта.

Параметры параметрического закона получены автором и представлены функциями аргумента предельной величины избыточного давления  $\Delta P_{\text{lim}}$  для  $k$ -й степени разрушения  $j$ -го объекта:

$$\left\{ \begin{array}{l} r_{kj}(\Delta P_{\text{lim}}) = \frac{\eta_{kj}(\Delta P_{\text{lim}})}{\Delta P_{\text{lim}_{kj}}}; \quad \eta_{kj}(\Delta P_{\text{lim}}) = \frac{(\Delta P_{\text{lim}_{kj}} - \Delta P_o)}{\ln\left(\frac{1}{1 - \kappa}\right)^{\frac{1}{\phi_k}}}; \\ \delta_{kj}(\Delta P_{\text{lim}}) = \frac{\Delta P_o}{\Delta P_{\text{lim}_{kj}}}, \end{array} \right. \quad (7)$$

где  $\Delta P_o$  – порог разрушения рассматриваемого объекта;  $\kappa$  – константа масштабного параметра  $\eta_{kj}(\Delta P_{\text{lim}})$  распределения Вейбулла.

Для прогнозирования последствий аварийных взрывов на прилегающей к объекту территории получен координатный закон фугасного воздействия взрыва на технологическое оборудование, здания и сооружения в очаге взрыва

$$G_{kj}(\Gamma) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{P_{skj}(\Gamma; \Delta P_{lim}) - \delta_{kj}(\Delta P_{lim})}{r_{kj}(\Delta P_{lim})} \right)^{\phi_k} \right], \quad (8)$$

где  $G_{kj}(\Gamma)$  - функция распределения вероятностей получения  $k$ -й степени разрушения  $j$ -м объектом в зависимости от расстояния  $\Gamma$  до центра взрыва;

$P_{skj}(\Gamma; \Delta P_{lim}) = \frac{\Delta P_{\phi}(\Gamma)}{P_{lim_{kj}}}$  - функционал, характеризующий приведенное к предельной величине  $\Delta P_{lim_{kj}}$  давление для  $k$ -й степени разрушения, воздействующее на  $j$ -й объект на расстоянии  $\Gamma$  до центра взрыва;  $\Delta P_{\phi}(\Gamma)$  - функция, определяющая текущее значение избыточного давления на расстоянии  $\Gamma$  до центра взрыва.

В диссертации определены численные значения параметров трехпараметрического распределения Вейбулла для соответствующих параметрических законов поражающего воздействия на человека, технологическое оборудование, различные типы зданий и сооружений.

Координатные законы для рассматриваемых степеней разрушения операторного здания из монолитного железобетона приведены, в качестве примера, на рис.5.

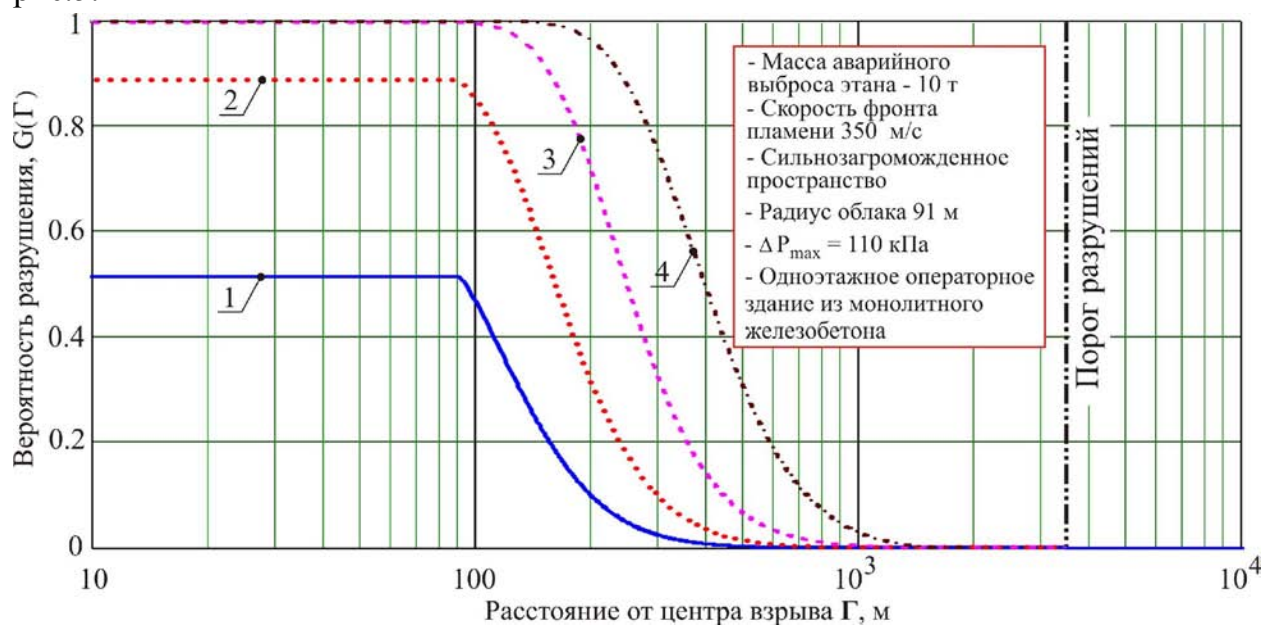


Рис. 5. Зависимость вероятности разрушений от расстояния до центра взрыва:

1 - полные разрушения; 2 - сильные разрушения; 3 - средние разрушения; 4 - слабые разрушения

Полученные параметрические и координатные законы токсического и фугасного поражения реципиента, являясь базовой основой стохастических моделей потенциального, индивидуального и коллективного риска, позволяют при количественном анализе риска в нефтегазовой отрасли ранжировать прилегающую территорию



по уровню опасности и выявить зоны и территории, где уровни риска достигают или превышают значения, при которых необходимо ужесточение контроля или принятие определенных мер по снижению риска и обеспечению нормативной безопасности производственного персонала и населения.

**Во второй главе** выполнен теоретический анализ и дано обоснование применения физико-математических моделей развития аварийных процессов и возникновения поражающих факторов в окружающей среде.

Расчет полей поражающих факторов, возникающих при взрывах, пожарах или формировании токсичного облака, - достаточно сложный и ответственный этап количественной оценки техногенных рисков. Это объясняется тем, что степень адекватности предлагаемых методик реальным процессам изменения избыточного давления на фронте ударной волны, теплового излучения или токсодоз в рассматриваемой точке территории значительно влияет на уровень достоверности полученных значений рисков аварий на потенциально опасных объектах техносферы. Однако существование в настоящее время большого количества разнообразных методик, различающихся по точности, сложности и глубине проработки процессов формирования зон поражающих факторов, и использование их исследователями при декларировании промышленной безопасности опасных производственных объектов определяют необходимость их сравнения, всестороннего анализа и дальнейшего развития.

Выполненный в диссертационной работе сравнительный анализ существующих методик оценки аварийных взрывов газопаровоздушных смесей позволил выработать обоснованные предложения и рекомендации по их уточнению и применению.

Одним из основных факторов, определяющих ожидаемые последствия возможных аварий, а следовательно, и соответствующие показатели риска, является масса газопарового облака, образующегося в результате аварийной разгерметизации оборудования. Однако в существующих методиках нет однозначного решения задачи расчета количества опасного вещества, участвующего в создании поражающих факторов. При этом методические подходы, используемые при расчете количества опасного вещества, участвующего в формировании взрыво-, пожаро- и токсикопасного облака при авариях, зависят, при прочих равных условиях, от агрегатного состояния данного вещества и рассматриваемого вида поражающего фактора. С учетом сказанного, в диссертационной работе выполнен сравнительный анализ существующих физико-математических моделей и эмпирических формул для расчета массы газопарового облака при неконтролируемых выбросах нефти, нефтепродуктов и сжиженных газов.

Особенности физико-химических свойств нефти и ее фракций (смеси жидких углеводородов и других химических соединений) и, в частности, их поведение в условиях повышенных температур и давления, при расчете количества опасного вещества, перешедшего в газопаровое облако при аварийном выбросе из техноло-

гического оборудования, не учитываются в существующих методиках, что дает значительный разброс результатов.

В диссертации выполнен анализ эмпирических зависимостей, определяющих физические свойства нефти и ее фракций, и дано обоснование их применимости для расчета количества опасного вещества, участвующего в создании поражающих факторов. На этой основе разработаны методика расчета количества паров нефти и нефтепродуктов в облаке при авариях с выбросом опасного вещества, участвующего в создании поражающих факторов, и компьютерная программа, существенно упрощающая процедуру расчета.

Сущность алгоритма программы состоит в следующем: весь интервал кипения нефти или нефтепродукта разбивается на узкие фракции с интервалом выкипания, в пределах  $10 \div 20$  °С. Каждая такая фракция рассматривается в дальнейшем как условный компонент нефтяной смеси, состав которой в этом случае представлен дискретной смесью этих компонентов с фиксированными температурами кипения и соответствующим %(масс.) выходом каждой узкой фракции, по справочно-лабораторным данным предприятия для конкретных нефтей.

На основе полученных температур кипения для каждой такой компоненты нефтяной смеси определяются необходимые физические параметры, входящие в уравнения, используемые при расчете количества опасного вещества, участвующего в создании поражающих факторов.

В основу расчетов положены описанные в нормативной и справочной литературе эмпирические формулы, а также полученные автором по справочным данным о теплофизических свойствах некоторых жидких топлив аппроксимирующие зависимости. При расчете доли испарившейся жидкости за счет энергии перегрева по отношению к параметрам окружающей среды учитывались удельная изобарная теплоемкость жидких нефтепродуктов, удельная теплота испарения нефтепродуктов в точке кипения при атмосферном давлении, относительная молекулярная масса в зависимости от температуры кипения и фактора парафинистости рассматриваемой фракции нефти.

Один из этапов определения доли испарившейся  $i$ -й узкой фракции за счет энергии перегрева, на примере дифференцированного испарения низкокипящих фракций нефти, находящейся в оборудовании при высокой температуре  $t_{об}$  и выброшенной в окружающую среду при аварийной разгерметизации, показан, в качестве примера, на рис.6.

На основе полученных значений  $\chi(t)$  для рассматриваемых узких фракций нефти определяется масса паров веществ  $G_{эп}$ , образовавшихся за счет энергии перегрева:

$$G_{эп_j} = \sum_{i=1}^n \chi(t)_{i,j} \cdot \frac{\delta\%(t_k)_i}{100} \cdot G, \quad (9)$$

где  $\chi(t)_{i,j}$  - доля испарившейся  $i$ -й узкой фракции нефти за счет энергии перегрева по отношению к окружающей среде при  $j$ -й рабочей температуре в оборудовании;

$\delta\%(t_k)_i$  – выход в %(масс.)  $i$ -й узкой фракции нефти при средней температуре кипения данной узкой фракции по справочно-лабораторным данным предприятия;  $G$  – масса вещества, участвующего в аварии;  $n$  – число рассматриваемых узких фракций нефти.

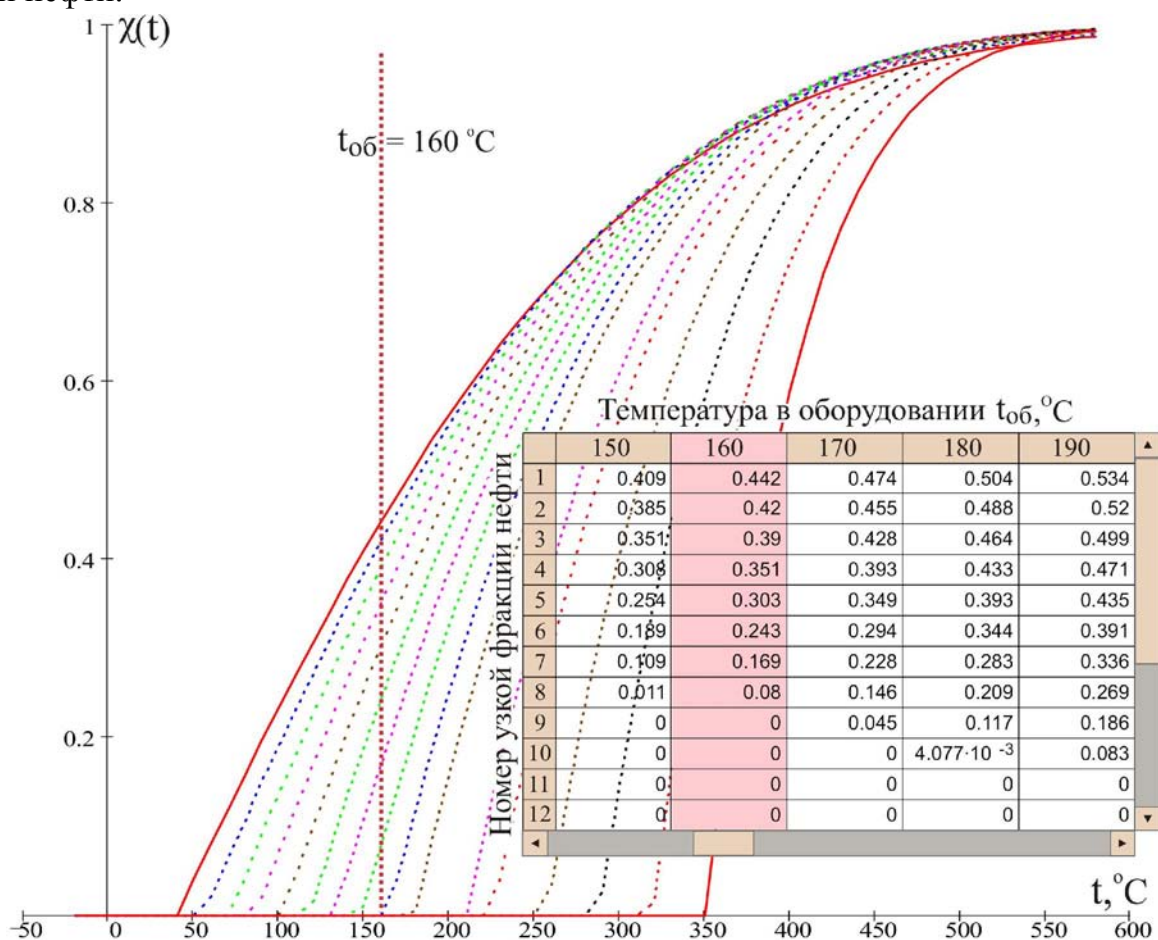


Рис.6. Зависимость изменения долей испарившихся за счет энергии перегрева узких фракций нефти от температуры в оборудовании

При расчете массы испарившейся жидкости за время  $\tau_{иж}$  вследствие турбулентно-диффузионного теплообмена с атмосферным воздухом по зеркалу разлития площадью  $S_{ж}$ , учитывалась интенсивность испарения с зеркала разлития в функции парциального давления паров  $i$ -й узкой фракции над нефтью или нефтепродуктом, температуры воздуха и скорости приземного ветра.

Один из этапов предлагаемого подхода к определению интенсивности испарения  $i$ -й узкой фракции за счет теплопритока от окружающей среды, на примере испарения фракций нефти, при заданных температуре воздуха  $t_v$  и скорости ветра  $v$ , показан на рис.7.

Масса паров, образовавшихся при испарении жидкости за счет турбулентно-диффузионного теплообмена с атмосферным воздухом, определяется из следующего выражения:

$$G_{зр} = \sum_{i=1}^n \sigma_i(t_v, v) \cdot S_{ж} \cdot \tau_{иж}, \quad (10)$$

где  $\sigma_i(t_b, v)$  – интенсивности испарения  $i$ -й узкой фракции нефтепродукта с зеркала разлития в функции температуры атмосферного воздуха и скорости ветра.

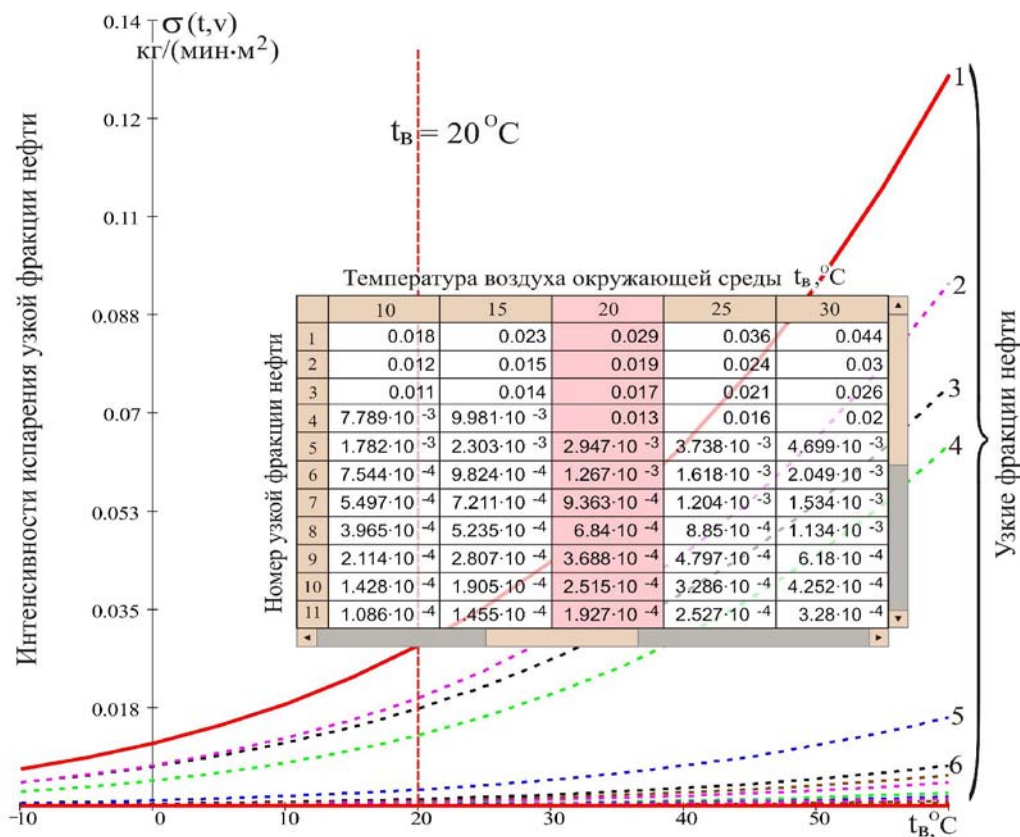


Рис.7. Зависимость интенсивности испарения узких фракций нефти от температуры окружающей среды

Общее количество паров нефти и нефтепродуктов в облаке, образовавшихся за счет энергии перегрева и теплопритока от окружающей среды, составит

$$G_{\text{обл}} = G_{\text{эп}} + G_{\text{зр}}. \quad (11)$$

Выполненный анализ существующих физических моделей и методов расчета позволил обосновать для последующих расчетов уточненные аналитические зависимости и разработать компьютерную программу для определения количества опасных веществ, участвующих в создании поражающих факторов при авариях с выбросом нефти и нефтепродуктов с учетом их фракционного состава, технологических характеристик и характеристик окружающей среды.

**В третьей главе** выполнены теоретическое обоснование и разработка математических моделей и аналитических методов количественной оценки риска социальных последствий возможных аварий. Разработана методика построения социального риска - зависимости риска поражения людей в рассматриваемых квадратах территории от количества людей, - представленного графиком закона распределения потерь. Данная зависимость отражает на координатной плоскости в виде точек результаты всех рассмотренных сценариев развития аварийных ситуаций и устанавливает связь между возможными потерями  $N$  в рассматриваемых квадратах терри-

тории и вероятностями реализации опасности в этих квадратах (рис.8). Кривые предельного риска, построенные в логарифмическом масштабе, делят координатную плоскость на три области – приемлемого, промежуточного и неприемлемого риска.

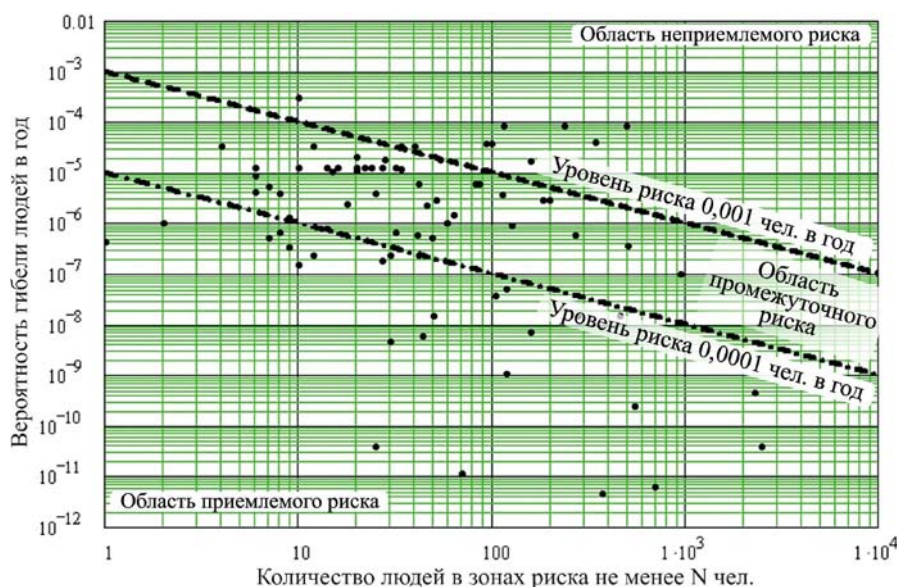


Рис.8. Социальный риск и кривые предельного риска для реального предприятия нефтегазовой отрасли

Социальный риск для отдельных сценариев развития аварии на рассматриваемом опасном производственном объекте по своим показателям попадает в область неприемлемого риска. Причем конкретным сценариям соответствуют конкретные места массового скопления людей - производственные помещения, предприятия, организации, жилые дома, учреждения, учебные заведения. По результатам выполненного анализа разрабатывается программа снижения риска для сценариев, показатели которых превысили уровень максимального риска.

В плане развития теории техногенного риска предложена методология картирования коллективного риска и на ее основе для объектов нефтегазового комплекса разработана методика, позволяющая на топографической карте получить распределение ожидаемого количества пораженных. Характер изолиний коллективного риска позволяет исследователю видеть наиболее опасные участки территории и, исходя из этого, принимать соответствующие организационные, управленческие и инженерные решения.

Алгоритм разработанной методики картирования рисков можно кратко представить следующей последовательностью: формирование сценариев развития аварий на потенциально опасном объекте → расчет масс аварийных выбросов для каждого сценария → расчет вероятностей реализации рассматриваемых сценариев → определение регрессионной модели развития аварии на объекте (технического риска) → на основе технического риска, параметрических законов поражения человека и детерминированных моделей формирования поля поражающих факторов расчет потенциального риска → картирование потенциального риска → определе-

ние матрицы вероятностей нахождения индивидуума в рассматриваемых  $ij$ -квadrатах территории  $\rightarrow$  расчет индивидуального риска  $\rightarrow$  картирование индивидуального риска  $\rightarrow$  определение матрицы распределения людей по  $ij$ -квadrатам территории  $\rightarrow$  расчет коллективного риска  $\rightarrow$  картирование коллективного риска.

Описанный алгоритм методики картирования потенциального, индивидуального и коллективного риска иллюстрирует рис.9.

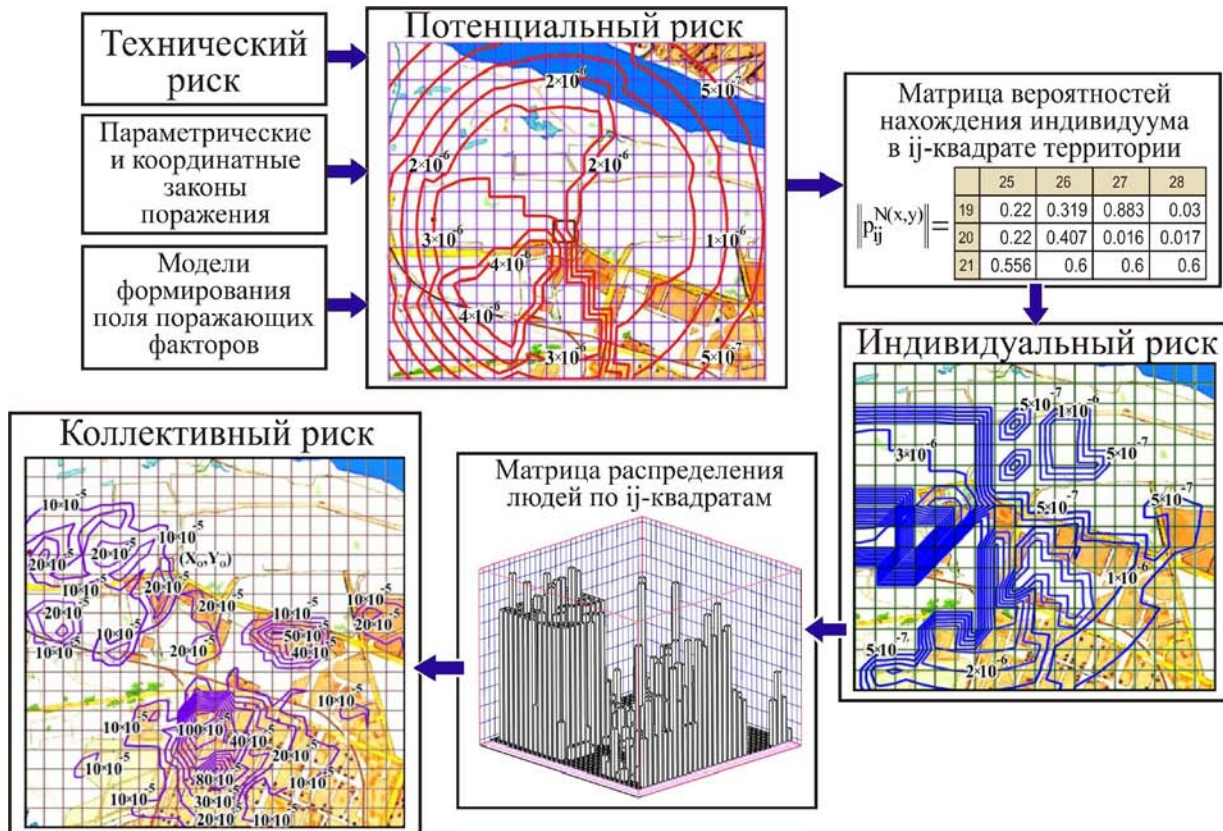


Рис.9. Алгоритм методики картирования потенциального, индивидуального и коллективного риска

Характер поля коллективного риска отражает реальную картину ожидаемых последствий возможных аварий на потенциально опасных объектах нефтегазового комплекса. Изолинии коллективного риска позволяют выделить на карте те  $ij$ -квadrаты территории, где наиболее неблагоприятным образом сочетаются составляющие коллективного риска – вероятность летального исхода в год  $R(x_i, y_j)$  и численность групп людей  $N(x_i, y_j)$ , объединенных одинаковыми условиями поражения и временем пребывания с соответствующими вероятностями  $P(N, x_i, y_j)$  нахождения данных групп людей в рассматриваемых квадратах.

Разработана оригинальная методика определения матрицы вероятностей нахождения индивидуума в рассматриваемых  $ij$ -квadrатах территории  $\|P_{ij}^{N(x,y)}\|$ .

Распределение населения на прилегающей к объекту территории не является равномерным. Селитебная территория представляет собой совокупность мест массового скопления людей – жилые массивы, предприятия, организации, учре-

ждения, учебные заведения, лечебные, спортивные и другие комплексы, количество людей в которых меняется в течение суток. Данный фактор пространственно-временной неоднородности жизнедеятельности человека на прилегающей к объекту территории достаточно сложно формализовать математически. Один из возможных путей решения этой проблемы – построение матрицы  $\|N_{ij}^{P(N,x,y)}\|$  математического ожидания числа людей, подверженных риску поражающего воздействия в рассматриваемых квадратах территории. Каждый  $ij$ -элемент данной матрицы определяется из выражения

$$N_{ij}^{P(N,x,y)} = \sum_{r=0}^{\theta} N_r^Z \cdot P_r^Z(\Delta \tau) + \sum_{q=0}^{\omega} N_q^O \cdot \frac{\Delta S_{qij}^O}{S_q^O} \cdot P_q^O(\Delta \tau) + \rho_k \cdot \Delta S_{ij}^C \cdot P^C(\Delta \tau), \quad (12)$$

где  $N_{ij}^{P(N,x,y)}$  - математическое ожидание числа людей, расположенных в пределах  $ij$ -квадрата территории с координатами  $(x_i, y_j)$  и объединенных в группы с одинаковыми условиями поражения и временем пребывания в  $r$ -м здании, на  $q$ -м объекте, в жилом массиве;  $N_r^Z$  - количество людей, сосредоточенных в здании  $r$ -го назначения (школа, институт, больница и т.п.), показанном на карте соответствующим условным знаком;  $N_q^O$  - количество людей, распределенных по территории объекта  $q$ -го назначения (завод, предприятие, организация, стадион и т.п.), занимающего на карте определенную площадь  $S_q^O$ ;  $P_r^Z(\Delta \tau)$ ,  $P_q^O(\Delta \tau)$  и  $P^C(\Delta \tau)$  - вероятности нахождения среднестатистического индивидуума из рассматриваемых групп людей с одинаковым временем пребывания соответственно в  $r$ -м здании, на  $q$ -м объекте и на территории жилого массива;  $\Delta S_{qij}^O$  - доля площади  $q$ -го объекта в пределах  $ij$ -квадрата территории;  $\Delta S_{ij}^C$  - доля площади жилого массива в пределах  $ij$ -квадрата территории;  $\rho_k$  - плотность людей на заселенной территории  $k$ -го района города;  $\theta$ ,  $\omega$  - количество объектов соответствующего назначения в пределах  $ij$ -квадрата территории.

Вероятность  $P(\Delta \tau)$  рассчитывается как доля времени  $\Delta \tau$  пребывания среднестатистического индивидуума из рассматриваемой группы людей в указанном месте компактного их размещения за год:

$$P(\Delta \tau) = \frac{\Delta w_y \cdot \Delta d_w \cdot \Delta \tau_d}{\tau}, \quad (13)$$

где  $\Delta w_y$ ,  $\Delta d_w$ ,  $\Delta \tau_d$  – число соответственно недель в году, дней в неделе и часов в день, когда среднестатистический индивидуум подвергается риску поражающего воздействия, находясь в указанном месте компактного размещения рассматриваемой группы людей;  $\tau$  – число часов в году.

Полагая в уравнении (12)  $P(\Delta \tau) = 1$ , рассчитываем максимально возможное число людей  $N(x_i, y_j)$ , которые в момент аварии одновременно могут оказаться в пределах рассматриваемого  $ij$ -квадрата территории с координатами  $(x_i, y_j)$ , и на этой основе формируем матрицу  $\|N_{ij}\|$ . Затем определяем средний показатель вероятности

сти нахождения среднестатистического индивидуума  $P(N, x_i, y_j) = \frac{N_{ij}^{P(N, x, y)}}{N(x_i, y_j)}$  в пределах рассматриваемого  $ij$ -квадрата территории с координатами  $(x_i, y_j)$  и строим матрицу  $\|P_{ij}^{N(x, y)}\|$ .

На основе полученной и соответствующим образом обработанной исходной информации о населении и прилегающей территории осуществляется картирование коллективного риска. При этом полученная информация является базовой для количественной оценки риска ожидаемых последствий от источника любого типа опасности – токсического, фугасного или теплового поражения.

Построенная, в качестве примера, в одних осях с трехмерным графиком распределения коллективного риска  $R_K(x, y)$  секущая плоскость заданных значений социального риска, когда, например, 10 человек и более подвергаются опасности летального исхода с вероятностью  $10^{-5}$  в год, позволяет выделить зоны с повышенным уровнем коллективного риска в одноименных  $ij$ -квадратах координатной сетки карты (рис.10).

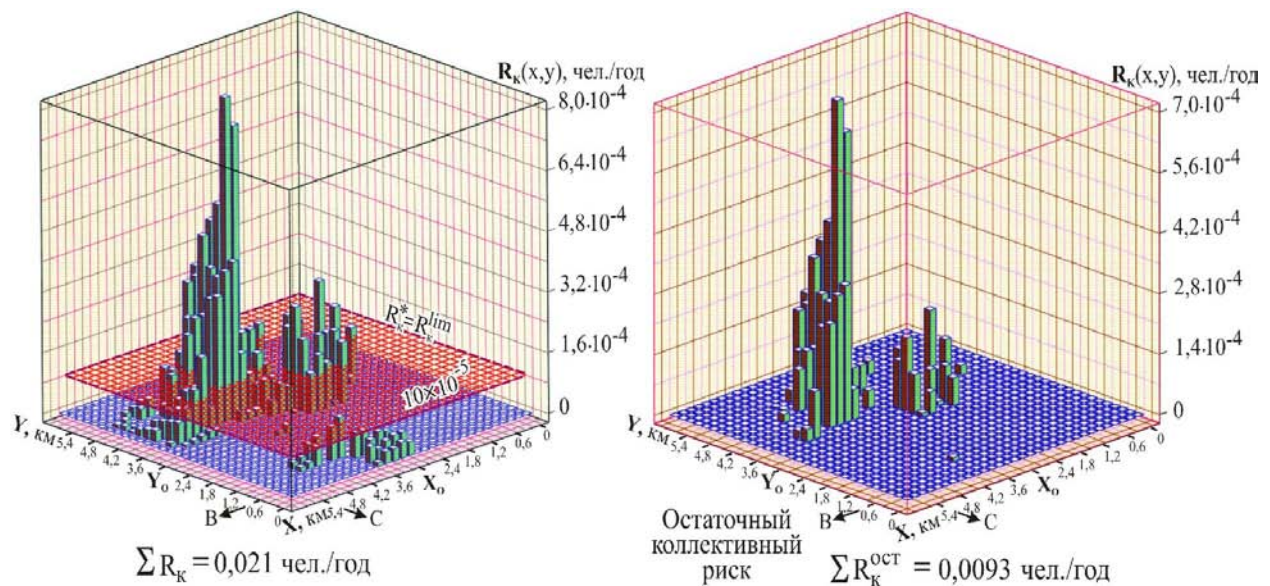


Рис. 10. Оценка остаточного коллективного риска

По величине остаточного риска можно судить о степени опасности объекта, об эффективности инженерных, организационных и управленческих решений, направленных на предупреждение аварий, о рациональном размещении объекта в пределах рассматриваемой территории.

Описанные методы количественного анализа риска позволяют получить объективную информацию о степени опасности объекта, ранжировать прилегающую территорию по уровню индивидуального, потенциального и коллективного риска, выявить, при наличии законодательно установленных критериев социального и индивидуального риска, зоны и территории, где уровни риска достигают или превышают значения, при которых необходимо ужесточение контроля или принятие



определенных мер по снижению риска и обеспечению безопасности производственного персонала и населения.

**В четвертой главе** предложены алгоритм выполнения и порядок оформления результатов анализа опасности технологического блока в расчетно-пояснительной записке ПЛАС для объектов нефтегазового комплекса, на примере установки первичной переработки нефти ЭЛОУ-АВТ-2 одного из нефтеперерабатывающих предприятий г. Орска. Обоснован метод количественной оценки технического риска блока установки в составе ПЛАС в зависимости от технологической схемы, состава и характеристик оборудования. Разработана методика анализа и количественной оценки возможности перехода аварийной ситуации в технологическом блоке установки на более высокий по степени опасности и ожидаемым последствиям уровень «Б». На ее основе получена компьютерная программа, которая позволяет:

- сравнить взрывоустойчивость оборудования, аппаратов и конструктивных элементов зданий и сооружений с уровнями избыточного давления на фронте воздушной ударной волны в разных точках территории и определить вероятности потери взрывоустойчивости оборудованием установки;
- определить потерю устойчивости к тепловому воздействию смежного емкостного оборудования и резервуаров, расположенных на рассматриваемых расстояниях от фронта пламени горящего разлива.

Для количественной оценки опасностей и риска установки ЭЛОУ-АВТ-2 была выполнена следующая последовательность действий:

- проведен анализ возможных причин возникновения и развития аварийных ситуаций с учетом отказов и неполадок оборудования, возможности ошибочных действий персонала, внешних воздействий природного и техногенного характера;
- рассмотрены и проанализированы схемы возможных сценариев возникновения и развития аварийных ситуаций блоков установки;
- оценены вероятности проявления опасных ситуаций блоков установки на основе данных статистического анализа о надежности работы оборудования;
- оценены зоны разрушений и поражения людей при авариях, сопровождающихся взрывами облака газопаровоздушной смеси и пожарами разлива.

Выполненный в диссертации анализ возможных стадий развития аварий в технологическом блоке установки ЭЛОУ-АВТ-2 позволил выделить стадию с наиболее тяжелыми последствиями, сопровождающуюся взрывом облака топливовоздушной смеси.

Для данной стадии аварии была проведена количественная оценка возможности перехода аварийной ситуации в технологическом блоке установки на более высокий по степени опасности и ожидаемым последствиям уровень «Б».

На рис.11 показано изменение избыточного давления в функции расстояния от центра взрыва облака ТВС, построены прямые равных значений предельной величины избыточного давления  $\Delta P_{пр}$ , соответствующего сильным разрушениям, до которой рассматриваемые элементы технологической установки сохраняют ре-

монтапригодность, и определены зоны потери взрывоустойчивости технологического оборудования при реализации рассматриваемой стадии развития аварийной ситуации.

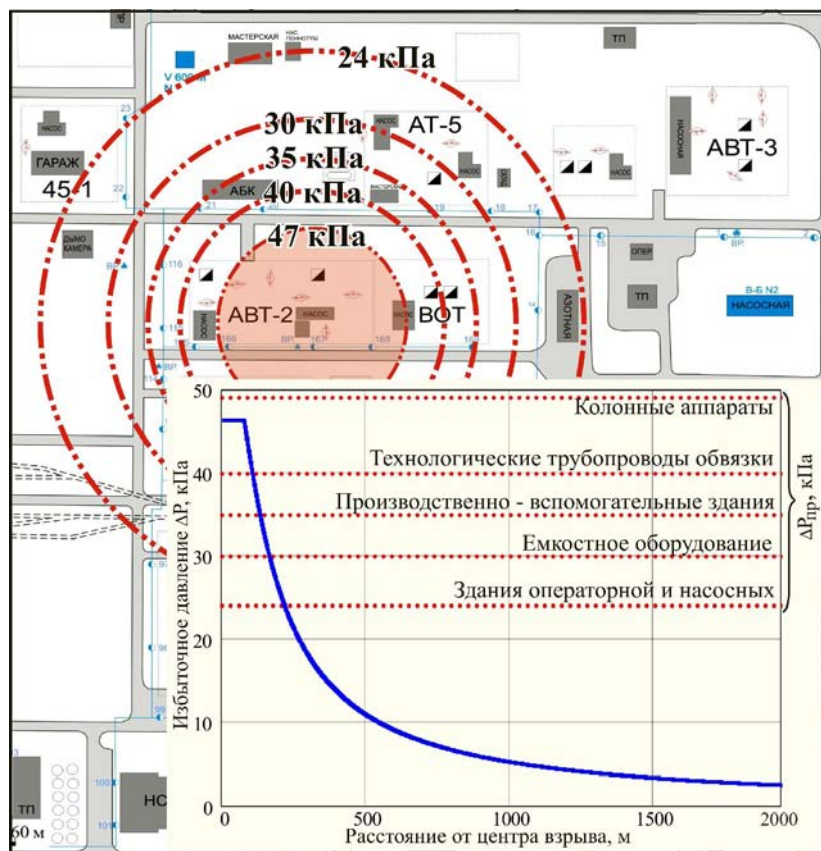


Рис.11. Зоны потери взрывоустойчивости для технологического оборудования

Из рисунка видно, что зоны ожидаемых сильных разрушений технологических трубопроводов, емкостного и другого оборудования, зданий насосной и компрессорной могут сформироваться за пределами территории установки ЭЛОУ-АВТ-2.

Вследствие силового воздействия на соседние блоки установки, воздушная ударная волна может вызвать дополнительные разрушения оборудования и реализацию заключенных в них опасностей с последующим формированием полей поражающих факторов. Выполненный сравнительный анализ позволяет утверждать, что при взрыве облака ТВС возможен цепной характер развития аварии на установке ЭЛОУ-АВТ-2 с переходом аварийной ситуации на уровень «Б».

В диссертации предложен метод количественной оценки риска перехода аварийной ситуации на более высокий по степени опасности и ожидаемым последствиям уровень «Б». На основе выполненных в первой главе диссертации исследований получены координатные законы разрушений технологического оборудования соседних блоков и определены вероятности потери взрывоустойчивости данным оборудованием за пределами блока (рис.12). По величине технического риска  $j$ -й аварийной ситуации  $R_{A_j}$  и вероятности потери взрывоустойчивости  $i$ -м оборуду-

дованием  $P_{B_i}$  рассчитан риск цепного развития аварии на установке с переходом аварийной ситуации на уровень «Б».

Предложенный в диссертационной работе методический подход позволяет оценить степень достаточности принятых мер по предупреждению аварийных ситуаций и при необходимости обосновать дополнительные мероприятия, направленные на повышение противоаварийной защиты и снижение последствий аварий на объектах нефтегазового комплекса.

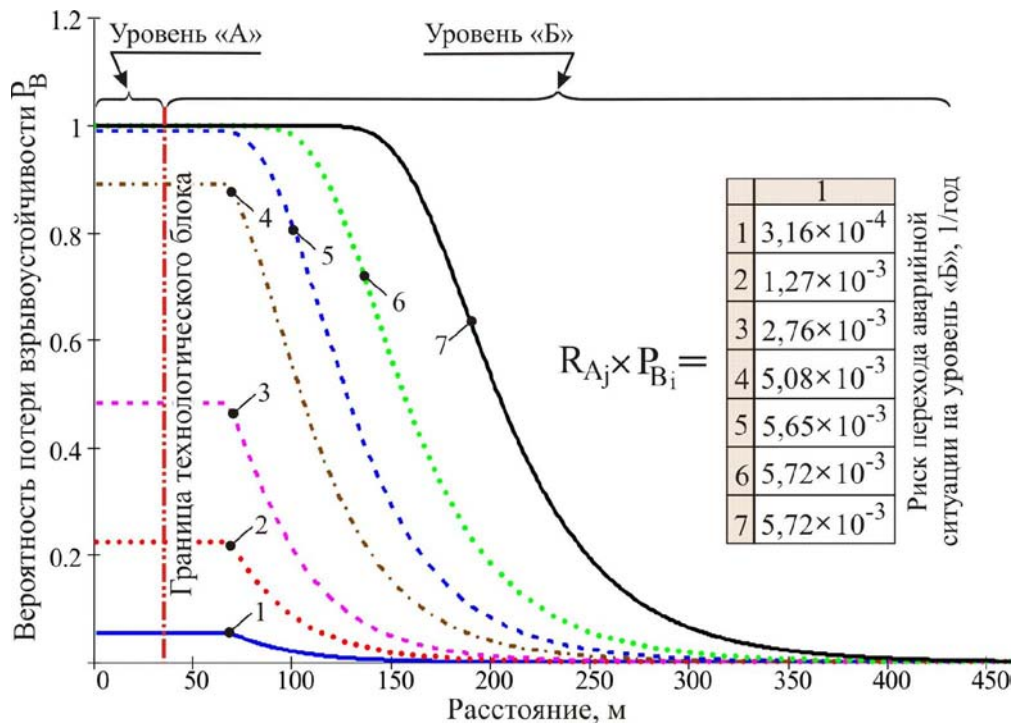


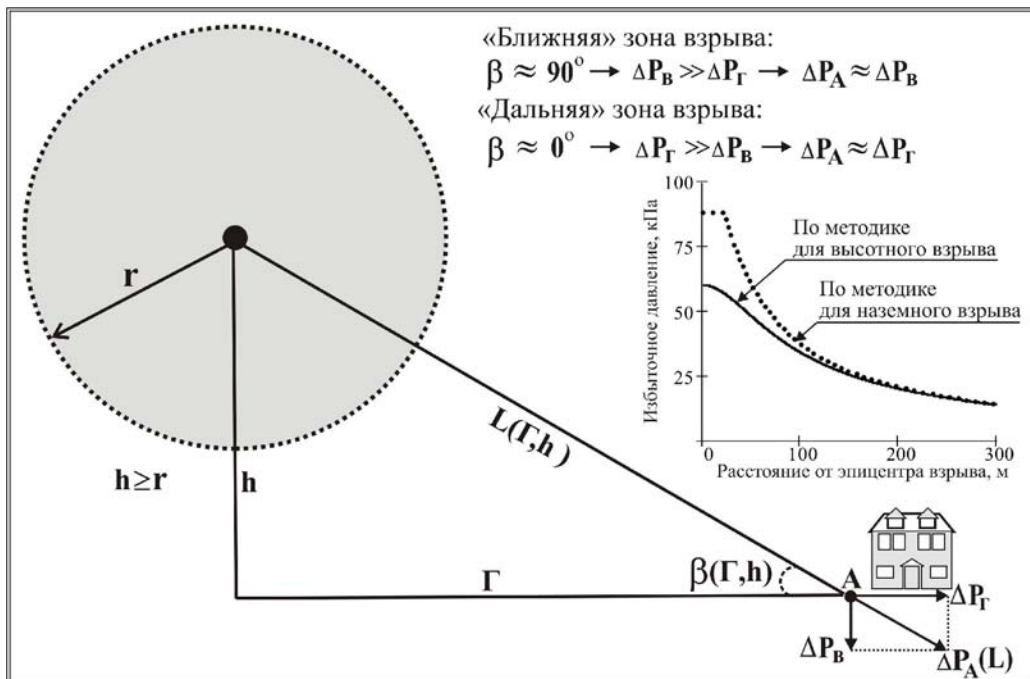
Рис. 12. Координатные законы потери взрывоустойчивости технологического оборудования:

- 1 - вагон-цистерна; 2 – автоцистерна; 3 - колонный аппарат; 4 - технологические трубопроводы; 5 - производственное здание; 6 - емкостное оборудование; 7 - здания операторной и насосной

**В пятой главе** разработаны методы анализа и оценки интегрированного риска технологических установок нефтеперерабатывающих предприятий с учетом технологических особенностей, схемных решений, специфики возникновения и развития аварийных ситуаций на примере технологических установок получения автомобильных бензинов и очищенного топлива одного из нефтеперерабатывающих предприятий г. Орска.

Определены типовые сценарии возможных аварий, и выполнена оценка количества опасных веществ, способных участвовать в аварии. Рассчитаны вероятные зоны действия поражающих факторов при авариях технологических установок получения автомобильных бензинов и очищенного топлива, проведена оценка возможного числа пострадавших и возможного ущерба. Предложена методика расчета высотных взрывов газопаровоздушных смесей при залповых выбросах горючей среды из колонного оборудования.

В условиях залпового выброса значительной массы горючей среды на высоте, определяемой высотой колонного оборудования, паровое облако приобретает в большинстве случаев форму сферы. При этом центр взрыва находится на высоте  $h$  над поверхностью земли. Соответственно характер поражающего воздействия избыточного давления  $\Delta P_{\Phi}$  на расстоянии  $L$  от центра облака при высотном взрыве ( $h \geq r$ ) будет отличаться от воздействия наземного взрыва. Особенности расчета избыточного давления в рассматриваемой точке территории при высотном взрыве показаны на рис.13.



$\Gamma$  - расстояние от эпицентра взрыва до объекта воздействия;  $h$  - высота взрыва;  $r$  - радиус облака;  $\Delta P_A(L)$  - избыточное давление в точке А на расстоянии  $L$  от центра взрыва;  $\Delta P_V$ ,  $\Delta P_G$  - вертикальная и горизонтальная составляющие избыточного давления в точке А.

Рис.13. Характер поражающего воздействия избыточного давления при высотном взрыве

Сравнение результатов расчетов по методике, предложенной для высотного взрыва, и методике для наземного взрыва в реальных условиях, приведено в таблице.

#### Изменение избыточного давления с расстоянием

$\Gamma$ , м	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400
$P_{\text{выс}}$ , кПа	61	58	52	45	39	35	31	27	25	22	21	19	18	16	15	14	14	13	12	12	11
$P_{\text{наз}}$ , кПа	88	88	69	54	45	38	33	29	26	23	21	19	18	17	16	15	14	13	12	12	11

**Примечание.** Исходные данные расчетов: радиус облака ГПВС – 22,4 м; высота взрыва – 50,5 м;  $P_{\text{выс}}$  – давление, рассчитанное по методике высотного взрыва;  $P_{\text{наз}}$  – давление, рассчитанное по методике наземного взрыва.

В диссертации показано, что на технологических установках получения автомобильных бензинов и очищенного топлива наиболее тяжелые последствия можно ожидать при развитии аварийной ситуации по следующему сценарию: разгермети-

зация наиболее крупного емкостного аппарата Е-2а блока №4 установки ГФУ(45-1) с выбросом в окружающую среду 168 т бензина с температурой 40°C, образованием первичного парогазового облака и в результате взрывом облака газопаровоздушной смеси углеводородов.

Наибольшая величина материального ущерба на опасной составляющей объекта (установки Т-22-4, Л-35-11/300, ЛГ-35-11/300-95, Л-24-2000-86, ГФУ(45-1), Л-24-Т6) может составить 13,3 млн.руб., экологического - 63,8 тыс.руб. При реализации рассматриваемого сценария с вероятностью  $1,14 \times 10^{-4}$  в год, максимальный интегрированный риск, при ЦСЖ 1,4 млн. руб./чел., прогнозируется на уровне 6,44 тыс. руб. в год. Коллективный риск от рассмотренной аварии составляет  $2,16 \times 10^{-4}$  чел./год, в денежном выражении при цене спасения жизни 1,4 млн. руб. - 302,2 руб./год, материальный риск - 6,13 тыс. руб./год, экологический риск - 7,27 руб./год. Для рассматриваемых условий развития аварии составляющие интегрированного риска распределены следующим образом: материальный риск составляет 95%, коллективный риск - 4,8% и экологический риск - 0,2%.

По результатам выполненного анализа интегрированного риска возможных аварий на рассматриваемой составляющей объекта был предложен перечень мер, направленных на уменьшение риска аварий:

- дооснастить установки производства автоматизированными системами управления и противоаварийной защиты с применением микропроцессорной техники, обеспечивающей автоматическое регулирование процесса и безаварийную остановку производства по спецпрограммам;
- предусмотреть блокировки, исключающие пуск и прекращение работы центробежных насосов при отклонении уровней в емкостях и насосах;
- оборудовать технологические печи паровой завесой, включающейся автоматически;
- оборудовать технологические установки системой сброса с предохранительных клапанов колонн и аппаратов в факельную систему с установкой емкости отбоя жидкой фазы.

**В шестой главе** разработаны методы анализа риска аварий в составе проектной документации на примере проекта реконструкции пункта налива нефти ОАО «Саратовнефтегаз».

Исходя из рекомендаций нормативных документов автором была предложена уточненная структура анализа риска аварий в составе проекта.

Основные разделы: методология анализа, исходные предположения и ограничения, определяющие пределы анализа риска; анализ и определение возможных причин и факторов, способствующих возникновению и развитию аварий; определение типовых сценариев возможных аварий, оценка количества опасных веществ, участвующих в аварии, расчет вероятных зон действия поражающих факторов, оценка возможного числа пострадавших, оценка возможных ущербов; оценка вероятности реализации сценариев, графическое отображение результатов анализа риска на си-

туационных планах; анализ неопределенностей результатов оценки риска; обобщение оценок риска, в том числе с указанием наиболее «слабых мест», и рекомендации и мероприятия по уменьшению риска.

В диссертации разработана модель гравитационного растекания цилиндрического слоя жидкости и обоснован метод оценки времени добегания горячей гидродинамической волны прорыва до рассматриваемой точки территории.

Наиболее опасным фактором гидродинамического растекания является перенос вместе с горячей жидкостью открытого огня, теплового излучения пламени и других опасных факторов пожара. При реализации данной аварийной ситуации, в зоне действия открытого пламени могут оказаться здания и сооружения, в которых находится значительное количество обслуживающего персонала. Возможность человека покинуть опасную зону до прихода в рассматриваемую точку горячей гидродинамической волны прорыва, при прочих равных условиях, будет зависеть от времени добегания до данной точки горячей жидкости.

На уровне оценки времени растекания горячей нефти обосновано предположение, что «цилиндрический» слой жидкости, образовавшийся в результате квазимгновенного разрушения резервуара, растекается под действием только гравитационных сил (рис.14).

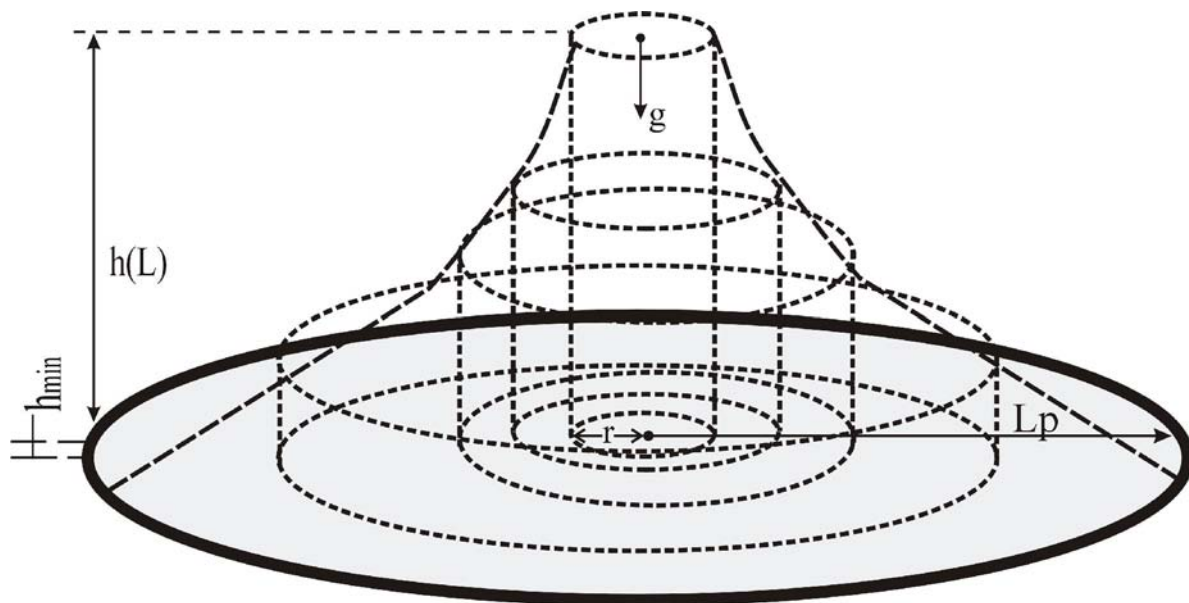


Рис.14. Модель гравитационного растекания цилиндрического слоя жидкости

На основе решения дифференциального уравнения, описывающего движение «цилиндрического» слоя жидкости, образовавшегося в результате квазимгновенного разрушения резервуара и растекающегося под действием только гравитационных сил, получена аналитическая зависимость для расчета времени добегания жидкости  $t(L)$  до точки, расположенной на расстоянии  $L$  от аварийного резервуара:

$$t(L) = \frac{1}{\sqrt{2g \cdot h_{\min}}} \cdot \left[ -L \cdot \left( \frac{Q}{\rho \cdot \pi \cdot L^2} - h_{\min} \right)^{\frac{1}{2}} + r \cdot \left( \frac{Q}{\rho \cdot \pi \cdot r^2} - h_{\min} \right)^{\frac{1}{2}} \right], \quad (14)$$

где  $Q$  - масса вещества, участвующего в аварии;  $\rho$  – плотность вещества;  $h_{\min}$  – минимальная толщина «цилиндрического» слоя жидкости;  $r$  - радиус аварийного резервуара.

На базе выполненных в первых главах диссертации исследований определен характер распределения условной вероятности теплового поражения  $P^*(\Gamma)$  в зоне действия опасных факторов пожара – открытого огня и теплового излучения с поверхности фронта пламени гидродинамической волны прорыва, представленной следующим выражением:

$$P^*(\Gamma) = \begin{cases} 1 & \text{при } \Gamma \leq L_p \\ \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{\text{Pr}(\Gamma)-5} \exp\left(-\frac{Z^2}{2}\right) dZ & \text{при } \Gamma > L_p; \end{cases} \quad (15)$$

$$\text{Pr}(\Gamma) = A + B \cdot \ln\left[t_0 \cdot (q(\Gamma) - J)^{4/3}\right]; \quad t_0 = \text{const},$$

где  $t_0$  – эффективное время экспозиции;  $q(\Gamma)$  – интенсивность теплового излучения в зависимости от расстояния;  $J$  – нижний порог теплового поражения человека;  $\text{Pr}(\Gamma)$  – пробит–функция;  $L_p$  – максимальный радиус зеркала разлива при полном растекании нефти по подстилающей поверхности до минимальной толщины слоя жидкости, принятой  $h_{\min}$ ;  $\Gamma$  – расстояние от аварийного резервуара до места нахождения персонала;  $Z$  – переменная интегрирования;  $A$ ,  $B$  - параметры пробит–функции.

Для летальных исходов, в соответствии с рекомендациями стандарта по пожарной безопасности ГОСТ Р 12.3.047-98, параметры пробит-функции соответственно равны  $A = -14,9$ ,  $B = 2,56$ .

При определении времени пребывания человека в зоне теплового облучения ( $t_0$ ) учитывались адекватность действий в сложившейся ситуации и скорость его передвижения к безопасной зоне, а также скорость растекания горячей нефти. При заданном времени экспозиции существует граничный (пороговый) уровень теплового потока, ниже которого вероятность летального исхода при тепловом поражении индивидуума исчезающе мала. С этой целью в уравнение (15) автором введен параметр граничного, порогового воздействия  $J$ . В качестве нижнего порога теплового воздействия для производственного персонала принята величина  $J \leq 3,5$  кВт/м<sup>2</sup>. Данная величина обосновывается тем, что минимальная доза теплового потока  $D_{\min} = J \cdot t_0$ , которую может получить человек на внешней границе круга вероятного поражения за время  $t_0$ , не должна превысить дозу, соответствующую ожогу первой степени поражения.

В диссертации приведен анализ риска аварий с формированием гидродинамической волны прорыва на нефтяных резервуарах. Результаты расчетов распределения вероятностей летальных исходов вследствие теплового поражения человека на при-

легающей к объекту территории (координатный закон поражения), при реализации максимальной гипотетической аварии на резервуарах, показаны на рис.15.

Интегрированный риск реконструируемого пункта налива нефти ОАО «Саратовнефтегаз», составляет 57,8 тыс. руб./год. Выполнен анализ неопределенностей результатов оценки риска. Разработаны рекомендации и мероприятия по уменьшению риска. На основе выполненных расчетов показано, что значительное снижение интегрированного риска возможно при расположении каждого резервуара в собственном обваловании.

**В седьмой главе** разработаны методы анализа безопасности и оценки интегрированного риска функционирования технологических и межобъектовых нефтепроводов с учетом их технических особенностей, схемных решений, специфики возникновения и развития аварийных ситуаций, на примере проектируемого межобъектового нефтепровода от базы нефтей ОАО СНПЗ до ж/д эстакады Увекской нефтебазы ОАО «Саратовнефтепродукт».

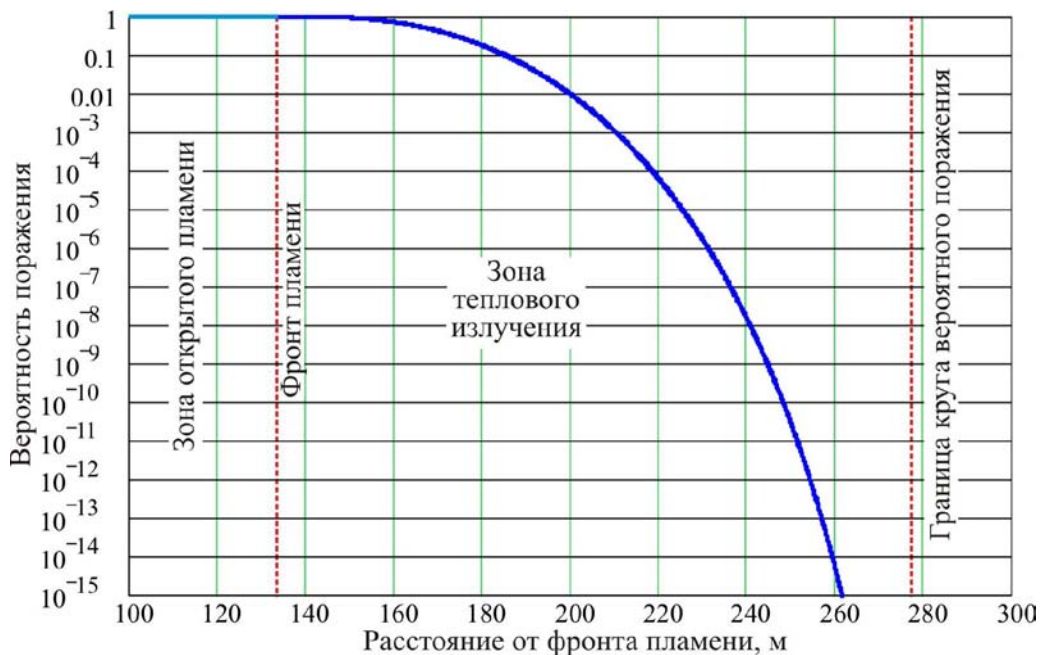


Рис.15. Распределение вероятности теплового поражения человека по территории объекта

Разработаны методы анализа риска аварий межобъектовых газопроводов природного газа ОАО «Норильскгазпром», работающих в экстремальных природно-климатических условиях Заполярья.

С целью анализа и оценки интегрированного риска межобъектовых нефтепроводов предприятий нефтегазового комплекса разработаны методы оценки количества опасного вещества, участвующего в аварии на межобъектовых нефтепроводах, методы расчета вероятных зон действия поражающих факторов, методы расчета линейных размеров и площади зеркала разлива нефти и времени растекания при аварийном порыве трубопровода.



Рассмотрен цепной характер развития аварии (эффект «Домино») на территории железнодорожной эстакады: порыв трубопровода, истечение нефти на подстилающую поверхность, появление источника воспламенения, возникновение первичного очага пожара разлития, распространение огня на железнодорожные цистерны, разрушение железнодорожных цистерн, разлив горячей нефти на прилегающую территорию, возникновение вторичного очага пожара разлития, воздействие открытого пламени и теплового излучения на персонал и объекты (рис.16).

Выполнена оценка возможного числа пострадавших вследствие воздействия открытого пламени, горящего разлития нефти и нефтепродуктов.

Выполненные анализ и оценка интегрированного риска на примере проектируемого межобъектового нефтепровода от базы нефтей ОАО СНПЗ до ж/д эстакады Увекской нефтебазы ОАО «Саратовнефтепродукт» показали, что максимальный интегрированный риск прогнозируется на уровне 577,8 руб. в год.



Рис.16. Зоны возможного теплового поражения при цепном развитии аварии

Наибольший вес в интегрированный риск вносит коллективный риск, доля которого составляет 78%, материальный риск – 21% и экологический риск – 1%. Для снижения риска ожидаемых социальных и материальных потерь обоснована необходимость строительства на ж/д эстакаде отводного железнодорожного пути для растаскивания вагонов-цистерн в случае их загорания.

Получены аналитические зависимости и математические модели для расчета интегрированного риска аварий с учетом природно-климатических особенностей эксплуатации газопровода в условиях Крайнего Севера.

Риск аварий для межобъектовых газопроводов природного газа определяется материальной составляющей от потерь газа и затрат на проведение ремонтно-восстановительных работ, экологической составляющей от загрязнения атмосферы метаном, социальной составляющей от воздействия полей поражающих факторов на человека в рассматриваемом сценарии аварии.

Экологический риск на рассматриваемом участке трассы газопровода определяется величиной удельного ущерба для поражаемой компоненты природной среды, массой аварийного выброса и частотой реализации сценария развития аварии на трубопроводе и составляет  $4,55 \times 10^{-3}$  руб./год на километр трассы.

Материальный риск от потерь газа и затрат на проведение ремонтно-восстановительных работ определяется величиной удельного материального ущерба, массой аварийного выброса и частотой реализации аварий на трубопроводе. В диссертации приведены полученные значения материальных рисков для рассматриваемых участков трассы газопровода.

Распределение социального риска вдоль линейной части межобъектового газопровода по виду поражающего воздействия, при условии равномерного расселения людей, имеет следующий характер:

- $1,2 \times 10^{-9}$  чел./(год·км) при формировании поля поражающих факторов в результате взрывного высвобождения энергии сжатого газа с разлетом фрагментов трубы;
- $4 \times 10^{-10}$  чел./(год·км) при струйном горении газа с формированием теплового излучения;
- $9 \times 10^{-11}$  чел./(год·км) при взрыве облака газозвушной смеси метана с формированием воздушной ударной волны;
- $2,6 \times 10^{-10}$  чел./(год·км) при вспышечном сгорании шлейфа газозвушной смеси метана с формированием воздушной ударной волны.

Это обосновывается:

- во-первых, тем, что поля поражающих факторов (для человека), создаваемые при аварийных выбросах природного газа, не выходят за пределы 200-метровой охранной зоны газопровода;
- во-вторых, низкой урбанизацией территории – 0,01-0,1% (в городах сосредоточено населения от 66% - Таймырский АО до 76,8% - Ямало-Ненецкий АО) и очень низкой плотностью населения ( $0,064$  чел./км<sup>2</sup> - Таймырский АО и  $0,57$  чел./км<sup>2</sup> - Ямало-Ненецкий АО). Исходя из вышеприведенных данных, на территории, расположенной в 200-метровой охранной зоне вдоль трассы магистрального газопровода, может находиться  $2,56 \times 10^{-5}$  чел. на 1 км трассы.

Выполненные сопоставительный анализ и оценка интегрированного риска на примере надземных межобъектовых трубопроводов природного газа ОАО «Норильскгазпром» показали, что в условиях Крайнего Севера преобладает риск материального ущерба от потерь газа, труб, арматуры и затрат на проведение ремонтно-восстановительных работ.

Социальная составляющая риска на линейной части газопровода, без учета ожидаемого ущерба для населения Норильска, ниже фоновых уровней и не превышает, в условиях Крайнего Севера, величины  $1,95 \times 10^{-9}$  чел./ (год·км). Риски линейной части в газопроводных системах – материальный, экологический, социальный – в условиях Заполярья составляют в составе интегрированного риска 99%, 0,7% и 0,3% соответственно.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Результатом выполненных исследований является развитие теории и методов количественной оценки риска последствий возможных аварий на примере объектов нефтегазового комплекса. Основу выполненных исследований составляет комплекс математических моделей и аналитических методов квантификации и анализа риска промышленных предприятий, как подсистемы управления промышленной безопасностью. Предложенные методы количественного анализа риска позволяют получить информацию о степени опасности объекта, ранжировать прилегающую территорию по уровню индивидуального, потенциального и коллективного риска, выявить зоны и территории, где уровни риска достигают или превышают установленные значения.

2. Показано, что интегрированный риск является многофакторной функцией, объединяющей риски социального, материального и экологического ущерба, обладающих свойством аддитивности и зависящих от типа реализуемой опасности и вида реципиента воздействия. Разработан метод количественной оценки интегрированного риска, основанный на использовании стохастической модели возникновения и развития аварии в сложной технической системе, локальных характеристик степени воздействия поражающих факторов на реципиента в форме координатных и параметрических законов поражения, а также удельных стоимостных характеристик прямых потерь и цены спасения жизни человека.

3. Разработана и доведена до практического применения оригинальная методика картирования потенциального, индивидуального и коллективного риска, позволяющая на основе учета стохастических процессов возникновения, развития и воздействия поражающих факторов аварии, получить пространственное распределение уровней каждого из рисков и выявить зоны, в пределах которых необходимо принятие определенных мер, направленных на повышение уровня промышленной безопасности.

4. Предложена и используется на практике методика, позволяющая на основе декомпозиции возможной аварийной ситуации и метода регрессионного анализа построить для рассматриваемой сложной технической системы модель технического риска, определяющую опасность объекта как источника аварийных выбросов с помощью кривой плотности распределения относительных частот. Полученная кривая плотности распределения относительных частот аварийных выбросов в предлагае-

мой интерпретации служит общей оценкой уровня опасности технической системы и является входной величиной для модели последовательности развития аварии.

5. Показано, что задачи оценки последствий воздействия поражающих факторов на реципиента могут быть сведены к моделированию ситуации с помощью распределения Вейбулла. Выполнен анализ эмпирико-статистических данных о характере воздействия поражающих факторов, и получены аналитические зависимости параметрических и координатных законов поражения реципиента, в основу которых положено трехпараметрическое распределение Вейбулла. Определены численные значения параметров соответствующих параметрических и координатных законов поражения реципиента.

Установлено, что различные здания, сооружения или технологическое оборудование при одинаковом внешнем воздействии на них избыточного давления имеют значительный разброс предела взрывоустойчивости  $\Delta P_{lim}$ , поэтому параметры параметрического закона фугасного поражения обоснованы и представлены функциями аргумента  $\Delta P_{lim}$  для соответствующей степени разрушения рассматриваемого объекта. Такой подход позволяет при количественной оценке риска возможных разрушений учесть тип, назначение и конструктивные особенности различных зданий, сооружений или технологического оборудования.

Выявлено, что для практического применения при прогнозировании последствий аварийных ситуаций наиболее удобны координатные законы, устанавливающие функциональную связь вероятности «эффекта поражения» с расстоянием до источника поражающего фактора. Поэтому в диссертации обоснован и выполнен аналитический переход от параметрических законов поражения реципиента к координатным законам, позволяющим получить распределение потенциального риска на прилегающей к потенциально опасному объекту территории.

Проведен сравнительный анализ координатных законов токсического и фугасного поражения реципиента, полученных на основе распределения Вейбулла и пробит-функций зарубежных исследователей. Выполненный сопоставительный анализ позволяет утверждать, что полученные автором законы поражения реципиента, аппроксимируемые трехпараметрическим распределением Вейбулла, с хорошей точностью совпадают с реперными данными отечественных нормативных документов Ростехнадзора и МЧС России.

6. Выполнен анализ существующих физических моделей и методов расчета количества опасного вещества, участвующего в создании поражающих факторов при авариях на потенциально опасных производственных объектах. Обоснованы аналитические зависимости, позволяющие рассчитать количество опасного вещества, участвующего в создании поражающих факторов при авариях с выбросом нефти и нефтепродуктов с учетом их фракционного состава, технологических характеристик и характеристик окружающей среды.

7. Предложены алгоритм выполнения и порядок оформления результатов анализа опасности технологического блока в расчетно-пояснительной записке ПЛАС для объектов нефтегазового комплекса. Обоснован метод количественной оценки технического риска технологического блока установки в зависимости от технологической схемы, состава и характеристик оборудования. Разработана методика анализа и количественной оценки возможности перехода аварийной ситуации в технологическом блоке установки на более высокий по степени опасности и ожидаемым последствиям уровень «Б». Предложенная методика позволяет выявить и обосновать достаточность принятых мер по предупреждению аварийных ситуаций и разработать мероприятия, направленные на повышение противоаварийной защиты и снижение последствий аварий на объектах нефтегазового комплекса.

8. Проведена оценка уровня опасности технологических установок нефтеперерабатывающих предприятий с учетом места расположения, технологических особенностей, схемных решений, специфики возникновения и развития аварийных ситуаций. Предложена методика расчета высотных взрывов газопаровоздушных смесей при залповых выбросах горючей среды на большой высоте из колонного оборудования. В качестве примера рассчитан риск технологической установки получения автомобильных бензинов и очищенного топлива ГФУ(45-1) одного из нефтеперерабатывающих предприятий г. Орска. Интегрированный риск функционирования установки ГФУ(45-1) лежит в пределах 6,3 – 6,5 тыс. руб. в год при величине полного ущерба от аварий на установке ГФУ(45-1) на уровне 14,6 – 16,2 млн. руб. Для рассматриваемых условий развития аварии составляющие интегрированного риска распределены следующим образом: риск материального ущерба составляет 95%, риск социального ущерба - 4,8% и риск экологического ущерба - 0,2%. Разработаны рекомендации и мероприятия по уменьшению риска.

9. Выполнен анализ риска аварий в составе проектной документации на примере реконструируемого пункта налива нефти ОАО «Саратовнефтегаз». Разработаны методы анализа риска аварий с возникновением гидродинамической волны прорыва на нефтяных резервуарах. Построена модель гравитационного растекания цилиндрического слоя жидкости, и обоснован метод оценки времени добегания горячей гидродинамической волны прорыва до рассматриваемой точки территории. Проведен анализ неопределенностей результатов оценки риска. Разработаны рекомендации и мероприятия по уменьшению риска. В качестве примера рассчитан интегрированный риск реконструируемого пункта налива нефти ОАО «Саратовнефтегаз», составивший 54,4 – 61,2 тыс. руб./год, при величине полного ущерба от аварий на резервуарах пункта налива нефти на уровне 99,2 – 110,4 млн. руб. и вероятности реализации наиболее тяжелого по своим последствиям сценария на уровне  $5,4 \times 10^{-4}$  1/год, что подтверждает целесообразность предлагаемых мер, направленных на повышение уровня промышленной безопасности.

10. Проведены анализ безопасности и оценка интегрированного риска функционирования межобъектовых нефтепроводов на примере проектируемого нефтепровода от базы нефтей ОАО СНПЗ до ж/д эстакады Увекской нефтебазы ОАО «Саратовнефтепродукт» с учетом технологических и технических особенностей, схемных решений, специфики возникновения и развития аварийных ситуаций. Выполненный анализ и оценка интегрированного риска показали, что максимальный интегрированный риск прогнозируется на уровне 322 – 578 руб. в год при величине прогнозируемого полного ущерба от аварий на нефтепроводе на уровне 27,7 - 32,4 млн. руб. и вероятности гильотинного разрыва трубопровода на уровне  $1,8 \times 10^{-5}$  1/год, что подтверждает необходимость повышения уровня промышленной безопасности. Для рассматриваемых условий развития аварии составляющие интегрированного риска распределены следующим образом: риск социального ущерба составляет 78%, риск материального ущерба - 21% и риск экологического ущерба - 1%. Для снижения риска ожидаемых социальных и материальных потерь обоснована необходимость строительства на ж/д эстакаде отводного железнодорожного пути для растаскивания вагонов-цистерн в случае их загорания.

11. Проведена оценка уровня опасности межобъектовых газопроводов, работающих в экстремальных природно-климатических условиях Заполярья. Выполненный сопоставительный анализ и оценка интегрированного риска на примере надземных межобъектовых трубопроводов природного газа ОАО «Норильскгазпром» показали, что в условиях Крайнего Севера при аварии на газопроводе преобладает риск материального ущерба от потерь газа, труб и арматуры, а также затрат на проведение ремонтно-восстановительных работ. Социальная составляющая риска на линейной части газопровода, без учета ожидаемого ущерба для населения Норильска, ниже фоновых уровней и не превышает, в условиях Крайнего Севера, величины  $2 \times 10^{-9}$  чел./((год·км). Риски линейной части в газопроводных системах – материальный, экологический, социальный - в условиях Заполярья составляют в составе интегрированного риска 99%, 0,7% и 0,3% соответственно.

12. Результаты диссертационной работы внедрены на наиболее крупных производственных объектах нефтегазового комплекса ОАО «Саратовский НПЗ» и нефтебаз ОАО «Саратовнефтепродукт»:

- при разработке раздела анализа безопасности и риска в декларациях промышленной безопасности опасных производственных объектов;
- при разработке планов локализации и ликвидации аварийных ситуаций (ПЛАС) для технологических установок;
- при разработке планов по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов (ПЛАРН);
- при выработке и обосновании инженерных решений, направленных на снижение опасности проектируемых межобъектовых нефтепроводов ОАО «Саратовнефтепродукт».

**Основные положения и результаты диссертации опубликованы в 50 работах (в том числе 3 монографиях), из них в журналах и изданиях из перечня ВАК РФ опубликовано 6 работ:**

1. Вопросы методологии управления безопасностью в регионах с высокорисковыми объектами / В.А. Хрусталеv, А.И. Попов, А.М. Козлитин и др. // Безопасность труда в промышленности. 1994. № 9. С.31-39.

2. Козлитин А.М. Методологические подходы и количественная оценка риска чрезвычайных ситуаций в регионах с потенциально опасными объектами / А.И. Попов, А.М. Козлитин // Безопасность труда в промышленности. 1995. № 2. С.10 - 14.

3. Козлитин А.М. Оценка риска при декларировании безопасности химических производств / А.М. Козлитин, А.И. Попов // Безопасность труда в промышленности. 1997. №2. С. 21-25.

4. Козлитин А.М. Анализ риска аварий с формированием гидродинамической волны прорыва на мазутных резервуарах ТЭЦ / А.М. Козлитин, А.И. Попов, П.А. Козлитин // Безопасность труда в промышленности. 2003. №1. С. 26 – 32.

5. Козлитин А.М. Совершенствование методов расчета показателей риска аварий на опасных производственных объектах / А.М. Козлитин // Безопасность труда в промышленности. 2004. №10. С. 35 – 42.

6. Козлитин А.М. Методы расчета риска техногенных аварий / А.М. Козлитин // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2004. №4(5). С. 58 – 64.

7. Декларирование безопасности и страхование гражданской ответственности потенциально опасных предприятий Саратовской области: организационно-методические материалы / А.М. Козлитин, Е.А. Ларин, А.И. Попов и др. Саратов: СГТУ, 1996. 172 с. (10,75 п.л./2,75 автор.).

8. Козлитин А.М. Методы технико-экономической оценки промышленной и экологической безопасности высокорисковых объектов техносферы / А.М. Козлитин, А.И. Попов. Саратов: СГТУ, 2000. 216 с. (13,5 п.л./12,5 автор.).

9. Козлитин А.М. Теоретические основы и практика анализа техногенных рисков. Вероятностные методы количественной оценки опасностей техносферы / А.М. Козлитин, А.И. Попов, П.А. Козлитин. Саратов: СГТУ, 2002. 180 с. (11,25 п.л./10,05 автор.).

10. Kozlitiн A.M. The Method to Determine the Cost of Counteracting the Emergencies / A.I. Popov, A.M. Kozlitiн // Mechanizmy i Uwarunkowania Ekorozwoju: Monografię opracowano na podstawie referatów nadesłanych na II Międzynarodową Interdyscyplinarną Konferencję Naukową. Rajgród, 21-24 września 1998. Sterowanie Ekorozwojem. Zarządzanie w Warunkach Ekorozwoju. Białystok (Poland), 1998. T.2. S.61-67.

11. Kozlitiн A.M. Methodology of integrated risk assessment for potentially dangerous objects of techno-sphere / A.M. Kozlitiн, A.I. Popow // *Economics and Environmental: Journal of the European Association of Environmental and Resource Economists*. Bialystok (Poland), 1999. Nr 2(15). P. 7-21.

12. Kozlitiн A.M. Methodology of Analysis of Reduction of Risk of Oil Piping Failure / A.M. Kozlitiн, A.I. Popow, J.M. Golikow // *Economics and Environmental: Journal of the European Association of Environmental and Resource Economists*. Bialystok (Poland), 2000. Nr 2(17). P. 9-20.

13. Kozlitiн A.M. Method of quantitative opinion of integrated risk breakdown of hydro-technical buildings / A.M. Kozlitiн, A.I. Popov, P.A. Kozlitiн // *Economics and Environmental: Journal of the European Association of Environmental and Resource Economists*. Bialystok (Poland), 2003. Nr 1(23). P. 45-67.

14. Kozlitiн A.M. Risk analysis for oil petroleum reservoirs and products / A.M. Kozlitiн, A.I. Popov, P.A. Kozlitiн // *Economics and Environmental: Journal of the European Association of Environmental and Resource Economists*. Bialystok (Poland), 2003. Nr 2(24). P. 133-146.

15. Козлитин А.М. Методологические подходы к оценке риска для населения от потенциально опасных объектов / А.И. Попов, А.М. Козлитин // *Фундаментальные и прикладные проблемы охраны окружающей среды: материалы Междунар. конф.* (Томск, 12-16 сентября 1995 г.). Томск: ТГУ, 1995. Т.5. С.39-40.

16. Kozlitiн A.M. Methodological approaches to the risk estimation for population against potentially dangerous objects / A.I. Popov, A.M. Kozlitiн // *Materials of International Conference on Fundamental and Applied Problems of Environmental Protection* (Tomsk, September 12-16, 1995). Tomsk: Tomsk State University, 1995. V. 5. P.27-28.

17. Козлитин А.М. Оценка риска поражения населения при перевозках опасных грузов по автомобильным дорогам промышленного региона / А.М. Козлитин, А.И. Попов // *Проблемы автодорожного комплекса Саратовской области и пути их решения: материалы регион. науч.-практ. конф.* (Саратов, 16-17 мая 1996 г.). Саратов: СГТУ, 1996. Ч.1. С.118-119.

18. Козлитин А.М. Декларирование безопасности объектов в городах Саратовской области (опыт, проблемы и задачи) / А.И. Попов, А.М. Козлитин // *Безопасность больших городов: материалы науч.-практ. конф.* (Москва, 18-19 июня 1997 г.). М.: МЧС РФ, 1997. С.156.

19. Козлитин А.М. Методика технико-экономического обоснования и оптимизации инженерных решений обеспечения экологической и промышленной безопасности / А.М. Козлитин, А.И. Попов // *Основные направления стратегии устойчивого эколого-экономического развития Саратовской области: научные доклады, обосновывающие материалы, информация*. Саратов: СГТУ, 1998. С.84-92.

20. Kozlitiн A.M. Metody określania kosztów przeciwdziałania nadzwyczajnym zagrożeniom / A.I. Popov, A.M. Kozlitiн // *Mechanizmy i Uwarunkowania Ekorozwoju: Monografię opracowano na podstawie referatów nadesłanych na II Międzynarodową In-*



terdyscyplinarną Konferencję Naukową. Sterowanie Ekorozwojem. Zarządzanie w Warunkach Ekorozwoju. Białystok (Poland), 1998. T.2. S.68.

21. Kozlitin A.M. The Technique for Registration of Industrial and Ecological Safety with Technical-Economic Substantiation of Highly-Risky Objects of Techno-sphere / A.M. Kozlitin, A.I. Popov // Nature and society of the next millennium: Globalization and Regional Ecological Economics problems: materials of Fourth International Conference of the Russian Chapter of the International Society for Ecological Economics. (Saratov, July 5-9, 1999). Saratov: PH "Parokhod", 1999. P. 66-67.

22. Kozlitin A.M. Methodic Peculiarities of Integrated Risk Evaluation in Pipeline Transportation Accidents / A.M. Kozlitin, A.I. Popov, V.E. Burdachev // Nature and society of the next millennium: Globalization and Regional Ecological Economics problems: materials of Fourth International Conference of the Russian Chapter of the International Society for Ecological Economics. (Saratov, July 5-9, 1999). Saratov: PH "Parokhod", 1999. P. 68-69.

23. Козлитин А.М. Методика учета факторов промышленной и экологической безопасности при технико-экономическом обосновании высокорисковых объектов техносферы / А.М. Козлитин, А.И. Попов // Природа и общество на рубеже нового тысячелетия: Глобализация и региональные эколого-экономические проблемы: материалы Четвертой Междунар. конф. Рос. отделения Междунар. общества экологической экономики. (Саратов, 5-9 июля 1999 г.). Саратов: ИКД «Пароход», 1999. С. 70 -71.

24. Козлитин А.М. Методические особенности оценки интегрированного риска при авариях на трубопроводном транспорте / А.М. Козлитин, А.И. Попов, В.Е. Бурдачев // Природа и общество на рубеже нового тысячелетия: Глобализация и региональные эколого-экономические проблемы: материалы Четвертой Междунар. конф. Рос. отделения Междунар. общества экологической экономики. (Саратов, 5-9 июля 1999 г.). Саратов: ИКД «Пароход», 1999. С.71-72.

25. Анализ экологических рисков линейной части магистральных нефтепроводов районного управления / А.М. Козлитин, Ю.Н. Голиков, А.И. Попов и др. // Экологическая и промышленная безопасность магистральных нефтепроводов: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2000. С.89-105.

26. Козлитин А.М. Методика определения экологических рисков аварий на магистральных нефтепроводах / А.М. Козлитин, Ю.Н. Голиков, А.И. Попов // Экологическая и промышленная безопасность магистральных нефтепроводов: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2000. С.31-43.

27. Козлитин А.М. Система терминов и определений, применяемых в промышленной и экологической безопасности / А.М. Козлитин, А.И. Попов // Экологическая и промышленная безопасность магистральных нефтепроводов: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2000. С. 4-14.

28. Козлитин А.М. Методология анализа и практика снижения экологических рисков аварий на магистральных нефтепроводах / А.М. Козлитин, А.И. Попов,

Ю.Н. Голиков // Региональные проблемы экологической экономики, логистики и предпринимательства: Междунар. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2000. С. 29-42.

29. Козлитин А.М. Техничко-экономическое обоснование повышения экологической безопасности магистральных нефтепроводов на основе рисков / А.И. Попов, Ю.Н. Голиков, А.М. Козлитин // Инструменты рыночной экономики: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2000. С. 77– 80.

30. Козлитин А.М. Анализ методик оценки последствий взрывов на потенциально опасных объектах техносферы / А.М. Козлитин, А.И. Попов, П.А. Козлитин // Устойчивое экологическое развитие: региональные аспекты: Междунар. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2001. С. 34-62.

31. Детерминированные методы количественной оценки экологической опасности аварий на гидротехнических сооружениях / А.М. Козлитин, А.И. Попов, П.А. Козлитин и др. // Устойчивое экологическое развитие: региональные аспекты: Междунар. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2001. С. 69-78.

32. Математические модели и методы количественной оценки экологического и интегрированного риска аварий гидротехнических сооружений / А.М. Козлитин, А.И. Попов, П.А. Козлитин и др. // Устойчивое экологическое развитие: региональные аспекты: Междунар. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2001. С. 83-103.

33. Козлитин А.М. Математические модели и методы детерминированной оценки последствий аварий на магистральном надземном трубопроводном транспорте в условиях Заполярья / А.М. Козлитин, А.И. Попов, П.А. Козлитин // Устойчивое экологическое развитие: региональные аспекты: Междунар. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2001. С. 157-175.

34. Козлитин А.М. Стохастические модели и результаты количественной оценки интегрированного риска аварий на магистральном трубопроводном транспорте в условиях Заполярья / А.М. Козлитин, А.И. Попов, П.А. Козлитин // Устойчивое экологическое развитие: региональные аспекты: Междунар. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2001. С. 125-138.

35. Козлитин А.М. Анализ состояния воздушной среды канализационных очистных сооружений на предприятиях нефтеперерабатывающей промышленности / Б.Н. Яковлев, А.М. Козлитин // Устойчивое экологическое развитие: региональные аспекты: Междунар. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2001. С. 139-148.

36. Козлитин А.М. Методика определения экологических рисков аварий на магистральных трубопроводах / А.М. Козлитин, А.И. Попов, П.А. Козлитин // Научные аспекты экологических проблем России: материалы Всерос. конф. (Москва, РАН, 13-16 июня 2001 г.). СПб.: Гидрометиздат, 2001. С. 216.

37. Козлитин А.М. Проблемы устойчивого эколого-экономического развития региона и некоторые пути их решения / А.И. Попов, А.М. Козлитин // Научные аспекты экологических проблем России: материалы Всерос. конф. (Москва, РАН, 13-16 июня 2001 г.). СПб.: Гидрометиздат, 2001. С. 194.

38. Козлитин А.М. Количественная оценка риска аварий на мазутных резервуарах ТЭЦ / А.М. Козлитин, А.И. Попов, П.А. Козлитин // Региональные проблемы управления экономическими и экологическими рисками: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2002. С. 5 -17.

39. Козлитин А.М. Анализ токсической опасности ТЭЦ / П.А. Козлитин, А.М. Козлитин // Региональные проблемы управления экономическими и экологическими рисками: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2002. С.83– 94.

40. Козлитин А.М. Методика определения экологических рисков аварий на магистральных трубопроводах / А.М. Козлитин, А.И. Попов, П.А. Козлитин // Научные аспекты экологических проблем России: тр. Всерос. конф.: в 2 т. М.: Наука, 2002. Т.2. С. 332 – 337.

41. Козлитин А.М. Аналитические методы и практика анализа риска аварий на опасных химических объектах / А.М. Козлитин, А.И. Попов, П.А. Козлитин // Об опыте декларирования промышленной безопасности и развитии методов оценки риска аварий на опасных производственных объектах: материалы тематического семинара (Москва, 24 - 25 сентября 2002 г.). М.: ГУП «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2003. С. 73-79.

42. Козлитин А.М. Теория и практика анализа риска аварий химических производств / А.М. Козлитин, А.И. Попов, П.А. Козлитин // Об опыте декларирования промышленной безопасности и страхования ответственности. Развитие методов оценки риска аварий на опасных производственных объектах: материалы тематического семинара (Москва, 14 - 15 октября 2003 г.). М.: ГУП «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2003. С. 46-52.

43. Козлитин А.М. Научные аспекты управления экологическими рисками промышленного региона / А.М. Козлитин, П.А. Козлитин // Экологические проблемы промышленных городов: сб. науч. трудов Всерос. науч.-практ. конф. Саратов: СГТУ, 2003. С. 74-79.

44. Козлитин А.М. Методологические и организационные основы управления безопасностью опасных производственных объектов с использованием критериев риска / А.М. Козлитин, А.И. Попов // Об опыте декларирования промышленной безопасности и страхования ответственности. Развитие методов оценки риска аварий на опасных производственных объектах: материалы пятого тематического семинара (Москва, 26 - 27 октября 2004 г.). М.: ФГУП «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2004. С. 28-34.

45. Козлитин А.М. Вероятностные методы анализа последствий фугасного воздействия взрыва на человека, технологическое оборудование, здания, сооружения при аварийных ситуациях на предприятиях нефтегазовой отрасли / А.М. Козлитин // Управление промышленной и экологической безопасностью производственных объектов на основе риска: Междунар. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2005. С. 16-43.

46. Методологические и организационные основы управления безопасностью опасных производственных объектов с использованием критериев риска / А.И. Попов, А.М. Козлитин, С.А. Головачев и др. // Управление промышленной и экологической безопасностью производственных объектов на основе риска: Междунар. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2005. С. 44-61.

47. Козлитин А.М. Оценка риска гидродинамических аварий на хранилищах производственных отходов химических предприятий / А.М. Козлитин, А.И. Попов // Управление промышленной и экологической безопасностью производственных объектов на основе риска: Междунар. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2005. С. 63-82.

48. Анализ риска опасного производственного объекта «пункт налива нефти «N» в составе проектной документации / А.И. Попов, А.М. Козлитин, П.А. Козлитин и др. // Управление промышленной и экологической безопасностью производственных объектов на основе риска: Междунар. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2005. С. 101-121.

49. Козлитин А.М. Количественный анализ риска возможных разливов нефти и нефтепродуктов / А.М. Козлитин, А.И. Попов, П.А. Козлитин // Управление промышленной и экологической безопасностью производственных объектов на основе риска: Междунар. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2005. С. 135-161.

50. Управление безопасностью производственных систем на основе риска / А.И. Попов, А.М. Козлитин, Л.А. Новожилова и др. // Глобализация, новая экономика и окружающая среда: Проблемы общества и бизнеса на пути к устойчивому развитию: материалы Седьмой Междунар. конф. Рос. отделения Междунар. общества экологической экономики (Санкт-Петербург, 23-25 июня 2005 г.). СПб: Санкт-Петербург. ун-т, 2005. С. 270 – 271.

**Козлитин Анатолий Мефодьевич**

**РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ И МЕТОДОВ ОЦЕНКИ  
РИСКОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ  
БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОГО  
КОМПЛЕКСА**

**А в т о р е ф е р а т**

Редактор Н.В. Исхакова

Корректор О.А. Панина

Лицензия ИД №06268 от 14.11.01

Подписано в печать 08.12.2005 г.

Бум. тип.

Тираж 90 экз.

Усл. печ.л. 2,0

Заказ 441

Формат 60×84 1/16

Уч.-изд.л. 2,0

Саратовский государственный технический университет

410054 г. Саратов, ул. Политехническая, 77

Отпечатано в РИЦ СГТУ, 410054 г. Саратов, ул. Политехническая, 77