



Кафедра пожарной безопасности
технологических процессов и производств



Тема № 10.2 «Определение пожарных рисков на промышленном объекте»



Учебные вопросы:

1. Основные положения, заложенные в методику определения пожарного риска на промышленном объекте.
2. Методика определения частоты реализации пожароопасной ситуации.

Цель занятия: изучить расчетные методы определения пожарного риска на промышленном объекте и методику определения частоты реализации пожароопасной ситуации.



Литература

Основная

1. Хорошилов О.А., Пелех М.Т., Бушнев Г.В., Иванов А.В. Пожарная безопасность технологических процессов: Учебное пособие/ под общей редакцией В.С. Артамонова – СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2012. - 300 с.

Дополнительная

1. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов. – М.: ВНИИПО, 2010. – 125 с.

Нормативные правовые акты

1. Федеральный закон РФ от 22 июля 2008 года №123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"
2. Приказ МЧС России от 10 июля 2009 года № 404.Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах.



Вопрос 1. Основные положения, заложенные в методику определения пожарного риска на промышленном объекте



Пожарный риск – мера возможности реализации пожарной опасности объекта защиты и ее последствий для людей и материальных ценностей.

Индивидуальный пожарный риск - пожарный риск, который может привести к гибели человека в результате воздействия опасных факторов пожара.

Социальный пожарный риск - степень опасности, ведущей к гибели группы людей в результате воздействия опасных факторов пожара.

Допустимый пожарный риск - пожарный риск, уровень которого допустим и обоснован исходя из социально-экономических условий.



Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах утверждена приказом МЧС России от 10 июля 2009 года № 404.

Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности утверждены приказом МЧС России от 30 июня 2009 года № 382.



Оценка пожарного риска производится:

- для обоснования обеспечения допустимых значений пожарного риска, установленных федеральным законодательством:
 - объекты, для которых федеральными законами о технических регламентах и/или нормативными документами по пожарной безопасности не установлены требования пожарной безопасности;
 - объекты, для которых не в полном объеме выполнены требования нормативных документов по пожарной безопасности;



Кафедра пожарной безопасности
технологических процессов и производств



- для принятия решений по разработке дополнительных мер по снижению пожарной опасности объекта в случае превышения одними или несколькими расчетными значениями пожарных рисков нормативных значений, установленных федеральным законодательством;
- при разработке проектной документации на объекты капитального строительства и проведении государственной экспертизы проектной документации.



Статья 93 Федерального закона РФ от 22 июля 2008 года № 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" содержит требования к величине допустимого пожарного риска на производственных объектах.

	Индивидуальный риск		Социальный риск
	На объекте	В жилой зоне	
Нормативный	10^{-6}	10^{-8}	10^{-7}
Допустимый	10^{-4}	10^{-6}	10^{-5}



Ст. 96 предъявляет требования к оценке пожарного риска на производственном объекте:

1. Определение частоты реализации пожароопасных ситуаций на производственном объекте.
2. Оценка опасных факторов пожара, взрыва для различных сценариев их развития осуществляется на основе сопоставления информации о моделировании динамики опасных факторов пожара на территории производственного объекта и прилегающей к нему территории и информации о критических для жизни и здоровья людей значениях опасных факторов анализируемых пожара, взрыва.
3. Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара, взрыва на людей для различных сценариев развития пожароопасных ситуаций предусматривает определение числа людей, попавших в зону поражения опасными факторами пожара, взрыва.



Для определения частоты реализации пожароопасных ситуаций на производственном объекте используется информация:

- 1) об отказе оборудования, используемого на производственном объекте;
- 2) о параметрах надежности используемого на производственном объекте оборудования;
- 3) об ошибочных действиях персонала производственного объекта;
- 4) о гидрометеорологической обстановке в районе размещения производственного объекта;
- 5) о географических особенностях местности в районе размещения производственного объекта.



Анализ пожарной опасности объекта

предусматривает:

а) анализ пожарной опасности технологической среды и параметров технологических процессов на объекте;

б) определение перечня пожароопасных аварийных ситуаций и параметров для каждого технологического процесса;

в) определение для каждого технологического процесса перечня причин, возникновение которых позволяет характеризовать ситуацию как пожароопасную;

г) построение сценариев возникновения и развития пожаров, влекущих за собой гибель людей.



При анализе пожарной опасности технологической среды и параметров технологических процессов на объекте используются следующие сведения:

- данные о наличии и виде горючих веществ и материалов, их количестве, физико-химических свойствах и показателях пожарной опасности;
- технологические параметры оборудования (*давление, температура, уровни заполнения, материальные потоки*) и подводящих/отводящих трубопроводов (диаметры, толщины стенок, расстояние до отсекающей арматуры);
- параметры исполнительных механизмов систем противоаварийной защиты (*время закрытия и открытия запорной арматуры, надежность срабатывания, производительность насосов или других устройств аварийного опорожнения*);
- планы расположения оборудования и его элементов.



Результаты оценки пожарного риска используются:

- для обоснования обеспечения допустимых значений пожарного риска, установленных федеральным законодательством, в следующих случаях:
 - объекты, для которых федеральными законами о технических регламентах и/или нормативными документами по пожарной безопасности не установлены требования пожарной безопасности;
 - объекты, для которых не в полном объеме выполнены требования нормативных документов по пожарной безопасности;
 - для принятия решений по разработке дополнительных мер по снижению пожарной опасности объекта в случае превышения одними или несколькими расчетными значениями пожарных рисков нормативных значений, установленных федеральным законодательством;
- при разработке проектной документации на объекты капитального строительства и проведении государственной экспертизы проектной документации.



Вычисление величин пожарного риска на объекте

Величина потенциального пожарного риска $P(a)$ (год⁻¹) (потенциальный риск) в определенной точке (a) на территории объекта и в селитебной зоне вблизи объекта

$$P(a) = \sum_{j=1}^J Q_{dj} \cdot Q_j \quad (1)$$

где J – число сценариев развития пожароопасных ситуаций (пожаров, ветвей логического дерева событий);

Q_{dj} – условная вероятность поражения человека в определенной точке территории (a) в результате реализации j -го сценария развития пожароопасных ситуаций, отвечающего определенному инициирующему аварии событию;

Q_j – частота реализации в течение года j -го сценария развития пожароопасных ситуаций, год⁻¹.



Условные вероятности поражения человека $Q_{dj}(a)$ определяются критериями поражения людей опасными факторами пожара, взрыва (например, значениями пробит-функций).

В качестве вероятностного критерия поражения людей и/или зданий и сооружений используется понятие пробит-функции (probit-function). В общем случае пробит-функция Pr описывается выражением

$$Pr = a + b \cdot \ln S,$$

где a , b - константы, зависящие от степени поражения и вида объекта;

S - интенсивность воздействующего фактора.



Условная вероятность поражения человека Q_{dj} от совместного независимого воздействия нескольких опасных факторов в результате реализации j -го сценария развития пожароопасных ситуаций определяется по формуле

h

$$Q_{dj}(a) = 1 - \prod_{k=1}^h [1 - Q_k \cdot Q_{djk}(a)] \quad (2)$$

где h – число рассматриваемых опасных факторов;

Q_k – вероятность реализации k -го опасного фактора;

$Q_{djk}(a)$ – условная вероятность поражения k -м опасным фактором.



Величина потенциального риска P_i (год⁻¹) в i -м помещении здания объекта определяется по формуле

$$P_i = \sum_{j=1}^J Q_j \cdot Q_{dij} \quad (3)$$

где J – число сценариев возникновения пожара в здании;

Q_j – частота реализации в течение года j -го сценария пожара, год⁻¹;

Q_{dij} – условная вероятность поражения человека при его нахождении в i -м помещении и реализации j -го сценария пожара.



Условная вероятность поражения человека Q_{dij}
определяется по формуле

$$Q_{dij} = (1 - P_{эij}) (1 - D_{ij}), \quad (4)$$

где $P_{эij}$ – вероятность эвакуации людей, находящихся в i -м помещении здания, при реализации j -го сценария пожара;

D_{ij} – вероятность эффективной работы технических средств по обеспечению безопасности людей в i -м помещении при реализации j -го сценария пожара.



Вероятность эвакуации $P_{эij}$ определяется по формуле:

$$P_{эij} = 1 - (1 - P_{эpij}) (1 - P_{д.вij}), \quad (5)$$

где $P_{эpij}$ – вероятность эвакуации людей, находящихся в i -м помещении здания, по эвакуационным путям при реализации j -го сценария пожара;

$P_{д.вij}$ – вероятность выхода из здания людей, находящихся в i -м помещении, через аварийные или иные выходы.

При отсутствии данных вероятность $P_{д.вij}$ допускается принимать равной 0,03 при наличии аварийных или иных выходов и 0,001 при их отсутствии.



Вероятность D_{ij} эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности i -го помещения при реализации j -го сценария пожара определяется по формуле

$$D_{ij} = 1 - \prod_{k=1}^K (1 - D_{ijk}) \quad (7)$$

где K – число технических средств противопожарной защиты;
 D_{ijk} – вероятность эффективного срабатывания (выполнения задачи) k -го технического средства при j -м сценарии пожара для i -го помещения здания.

При отсутствии данных по эффективности технических средств величины D_{ij} допускается принимать равными нулю.



Индивидуальный пожарный риск в зданиях и на территории объекта

Индивидуальный пожарный риск для работников объекта оценивается частотой поражения определенного работника объекта опасными факторами пожара, взрыва в течение года.

Области, на которые разбита территория объекта, нумеруются $i = 1, \dots, I$.

Работники объекта нумеруются $m = 1, \dots, M$.

Номер работника m однозначно определяет наименование должности работника, его категорию и другие особенности его профессиональной деятельности, необходимые для оценки пожарной безопасности. Допускается проводить расчет индивидуального риска для работника объекта, относя его к одной категории наиболее опасной профессии.

Величина индивидуального риска R_m (год⁻¹) для работника m объекта при его нахождении на территории объекта определяется по формуле

$$R_m = \sum_{i=1}^I q_{im} P(i) \quad (8)$$

$P(i)$ – величина потенциального риска в i -й области территории объекта, год⁻¹;

q_{im} – вероятность присутствия работника m в i -й области территории



Величина индивидуального риска R_m (год⁻¹) для работника m при его нахождении в здании объекта, обусловленная опасностью пожаров в здании, определяется по формуле:

$$I \quad R_m = \sum_{i=1}^I P_i q_{im} \quad (9)$$

где P_i – величина потенциального риска в i -м помещении здания год⁻¹;
 q_{im} – вероятность присутствия работника m в i -м помещении;
 N – число помещений в здании, сооружении и строении.

Индивидуальный риск работника m объекта определяется как сумма величин индивидуального риска при нахождении работника на территории и в зданиях объекта, определенных по формулам (8) и (9).

Вероятность q_{im} определяется исходя из доли времени нахождения рассматриваемого человека в определенной области территории и/или в i -м помещении здания в течение года на основе решений по организации эксплуатации и технического обслуживания оборудования и зданий объекта



Индивидуальный и социальный пожарный риск в селитебной зоне вблизи объекта

Для людей, находящихся в селитебной зоне вблизи объекта, индивидуальный пожарный риск принимается равным величинам потенциального риска в этой зоне, определенным по формуле (1).

Для объекта социальный пожарный риск (далее – социальный риск) принимается равным частоте возникновения событий, ведущих к гибели 10 и более человек.

Для людей, находящихся в селитебной зоне вблизи объекта, социальный риск S (год⁻¹) определяется по формуле

$$S = \sum_{j=1}^L Q_j \quad (10)$$

где L – число сценариев развития пожароопасных ситуаций (пожаров), для которых выполняется условие $N_i \geq 10$;

N_i – среднее число погибших в селитебной зоне вблизи объекта людей в результате воздействия опасных факторов пожара, взрыва при реализации j -го сценария.



Величина N_i определяется по формуле

$$\sum_{i=1}^I N_i = \sum Q_{dij} n_i \quad (11)$$

где I – количество областей, на которые разделена территория, прилегающая к объекту (i – номер области);

Q_{dij} – условная вероятность поражения человека, находящегося в i -й области, опасными факторами при реализации j -го сценария;

n_i – среднее число людей, находящихся в i -й области.



Вопрос 2. Методика определения частоты реализации пожароопасной ситуации



Для определения возможных сценариев возникновения и развития пожаров согласно методике, изложенной в 404 приказе МЧС России, рекомендуется использовать метод логических деревьев событий.

Построение логического дерева событий позволяет определить развитие возможных пожароопасных ситуаций и пожаров, возникающих вследствие реализации иницилирующих пожароопасную ситуацию событий. Анализ дерева событий представляет собой "осмысливаемый вперед" процесс, то есть процесс, при котором исследование развития пожароопасной ситуации начинается с исходного события с рассмотрением цепи последующих событий, приводящих к возникновению пожара.



При построении логического дерева событий **используются:**

- условная вероятность реализации различных ветвей логического дерева событий и перехода пожароопасной ситуации или пожара на ту или иную стадию развития;
- вероятность эффективного срабатывания соответствующих средств предотвращения или локализации пожароопасной ситуации или пожара;
- вероятность поражения расположенного в зоне пожара технологического оборудования и зданий объекта в результате воздействия на них опасных факторов пожара, взрыва.



Процедура построения логического дерева событий

При анализе логических деревьев событий руководствуются следующими положениями:

- возможностью предотвращения дальнейшего развития пожароопасной ситуации и пожара зависит от количества стадий и времени их протекания (то есть от длины пути развития пожароопасной ситуации и пожара). Это обуславливается большей вероятностью успешной ликвидации пожароопасной ситуации и пожара, связанной с увеличением времени на локализацию пожароопасной ситуации и пожара и количеством стадий, на которых эта локализация возможна;
- наличием у стадии разветвлений по принципу "или", одно из которых приводит на стадию локализации пожароопасной ситуации или пожара (например, тушение очага пожара, своевременное обнаружение утечки и ликвидация пролива, перекрытие запорной арматуры и т.п.), свидетельствует о возможности предотвращения дальнейшего развития пожароопасной ситуации и пожара по этому



При построении логических деревьев событий учитываются следующие положения:

- выбирается пожароопасная ситуация, которая может повлечь за собой возникновение аварии с пожаром с дальнейшим его развитием;
- развитие пожароопасной ситуации и пожара должно рассматриваться постадийно с учетом места ее возникновения на объекте оценки риска, уровня потенциальной опасности каждой стадии и возможности ее локализации и ликвидации;
- переход со стадии на стадию, как правило, отображается в виде соединяющих линий со стрелками, указывающими направления развития пожароопасной ситуации и последующего пожара. При этом соединения стадий должны отражать вероятностный характер события с выполнением условия "или" или "да", "нет";
- для каждой стадии рекомендуется устанавливать уровень ее опасности, характеризующийся возможностью перехода пожароопасной ситуации или пожара на соседние с пожароопасным



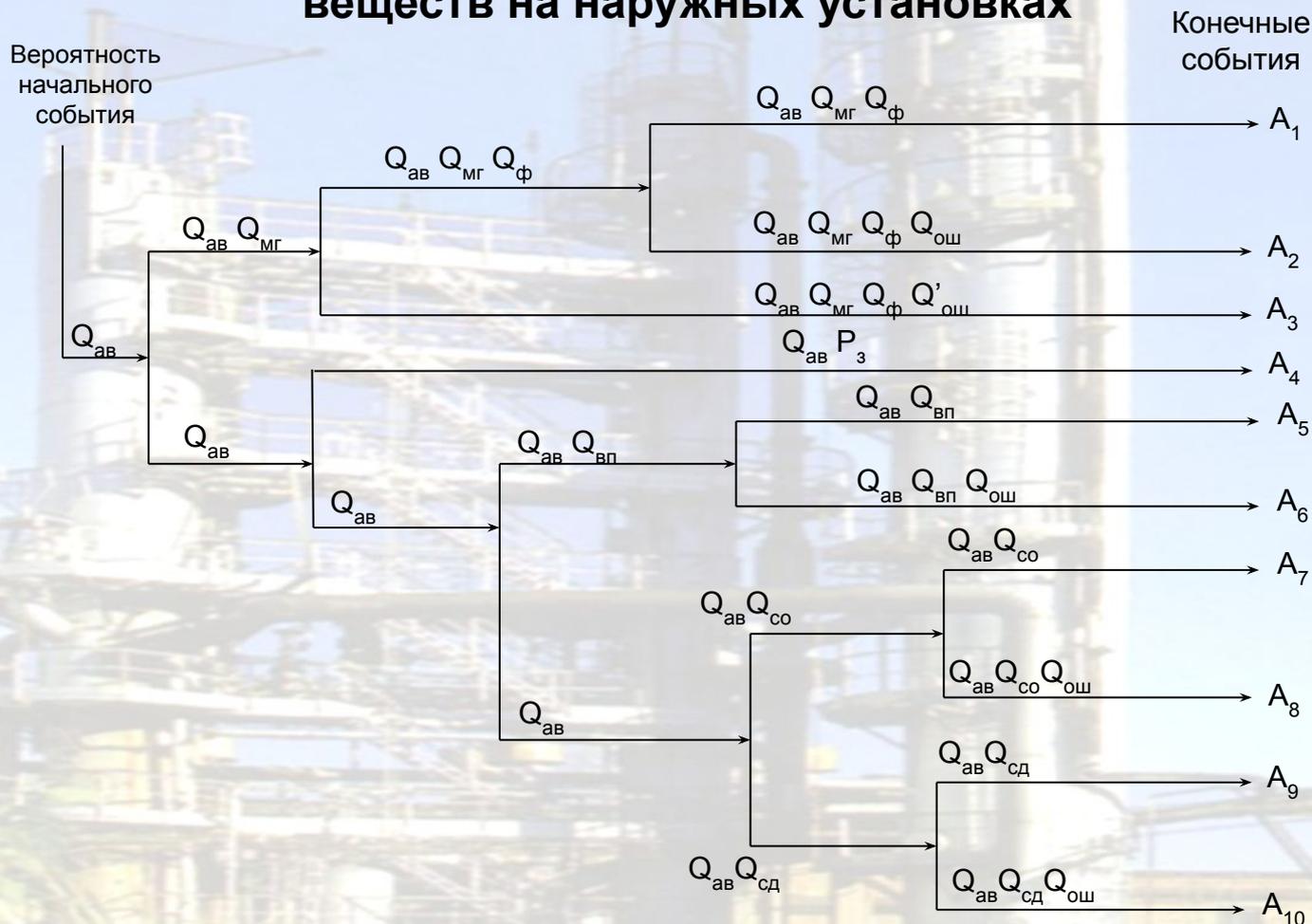
Кафедра пожарной безопасности технологических процессов и производств



- переход с рассматриваемой стадии на новую определяется возможностью либо локализации пожароопасной ситуации или пожара на рассматриваемой стадии, либо развития пожара, связанного с вовлечением расположенных рядом технологического оборудования, помещений, зданий и т.п. в результате влияния на них опасных факторов пожара, возникших на рассматриваемой стадии. Условные вероятности переходов пожароопасной ситуации или пожара со стадии на стадию одной ветви или с ветви на ветвь определяются, исходя из свойств вовлеченных в пожароопасную ситуацию или пожар горючих веществ, условной вероятности реализации различных метеорологических условий, наличия и условной вероятности эффективного срабатывания систем противоаварийной и противопожарной защиты, величин зон поражения опасными факторами пожара, объемно-планировочных решений и конструктивных особенностей оборудования и зданий производственного объекта;
- при повторении одним из путей части другого пути развития для упрощения построения логического дерева событий иногда вводят обозначение, представляющее собой соответствующую линию со стрелкой и надпись "на стадию (код последующей стадии)".



Логическая схема развития аварии, связанной с выбросом горючих веществ на наружных установках





Характеристика событий и вероятностей сценария логической схемы выброса пропана

Вероятность	Вид и развитие сценария
$Q_{ав}$ – вероятность аварийного выброса горючего вещества.	A_1 – мгновенное воспламенение истекающего продукта с последующим факельным горением
$Q_{мг}$ – вероятность мгновенного возгорания истекающего продукта.	A_2 – факельное горение, тепловое воздействие факела приводит к разрушению близлежащего резервуара и образованию «огненного шара»
$Q_{ош}$ – вероятность разрушения близлежащего резервуара под воздействием «огненного шара».	A_3 – мгновенный выброс продукта с образованием "огненного шара"
$Q_{ф}$ – вероятность факельного горения струи истекающего продукта.	A_4 – мгновенного воспламенения не произошло, авария локализована благодаря эффективным мерам по предотвращению пожара либо в связи с рассеянием парового облака
P_3 – вероятность того, что средства предотвращения пожара задачу выполнили, либо произошло рассеивание облака паров ГЖ.	A_5 – мгновенной вспышки не произошло, меры по предотвращению пожара успеха не имели, возгорание пролива.
$Q_{вп}$ – вероятность воспламенения пролива истекающего продукта.	A_7 – сгорание облака парогазовоздушной смеси в открытом пространстве
$Q_{со}$ – вероятность воспламенения облака паровоздушной смеси.	A_9 – сгорание облака с развитием избыточного давления в открытом пространстве
$Q_{сд}$ – вероятность сгорания облака паровоздушной смеси с развитием избыточного давления.	A_6, A_8, A_{10} – разрушение близлежащего резервуара под воздействием избыточного давления или тепла при горении пролива или образовании «огненного шара»
$Q'_{ош}$ – вероятность возникновения «огненного шара».	



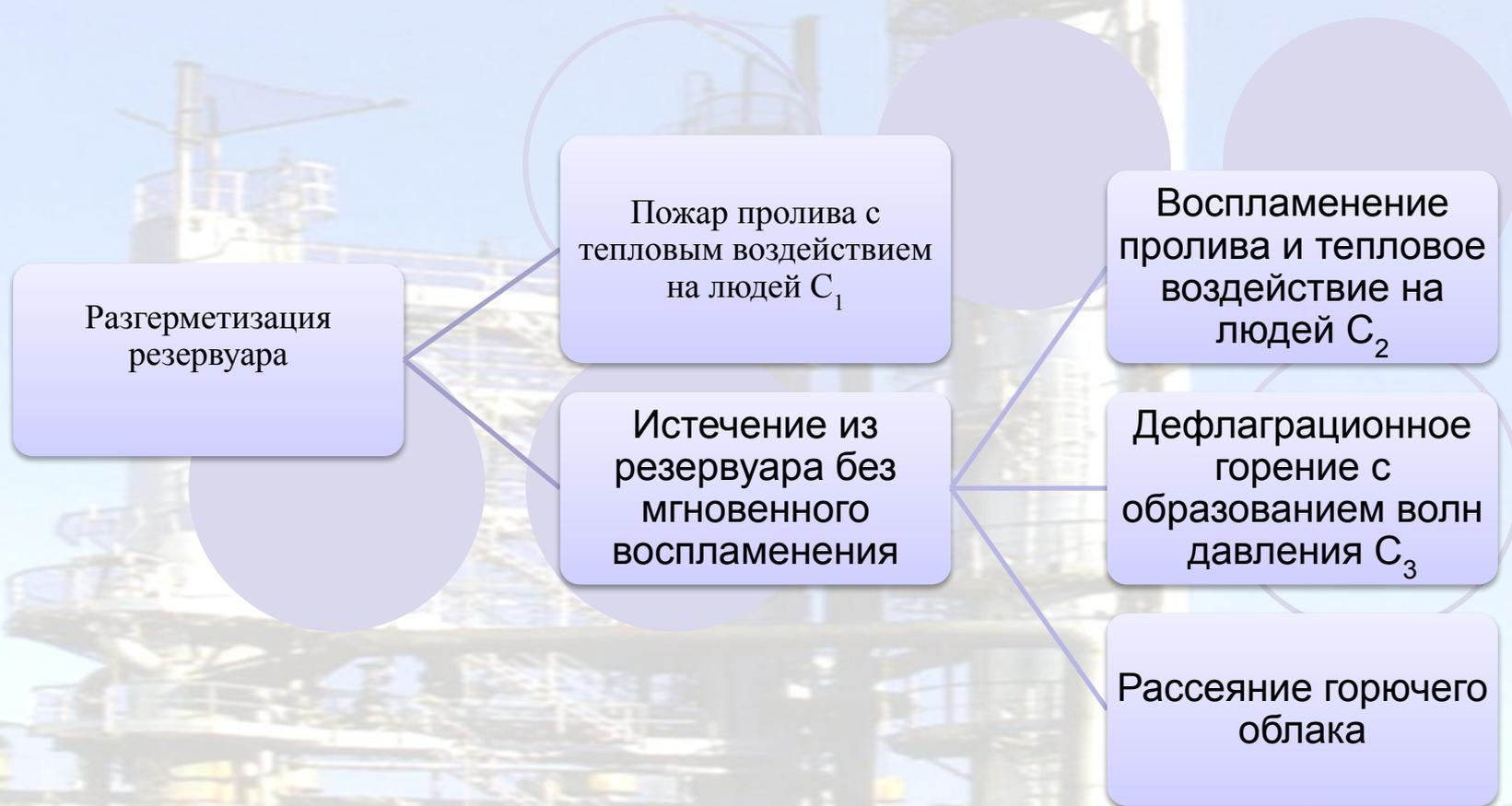
Кафедра пожарной безопасности

технологических процессов и производств





Кафедра пожарной безопасности технологических процессов и производств





Для различных сценариев развития пожара **строятся поля ОФП**, при этом учитываются:

- тепловое излучение при факельном горении, пожарах проливов горючих веществ на поверхность и огненных шарах;
- избыточное давление и импульс волны давления при сгорании газопаро-воздушной смеси в открытом пространстве;
- избыточное давление и импульс волны давления при разрыве сосуда (резервуара) в результате воздействия на него очага пожара;
- избыточное давление при сгорании газопаро-воздушной смеси в помещении;
- концентрация токсичных компонентов продуктов горения в помещении;
- снижение концентрации кислорода в воздухе помещения;
- задымление атмосферы помещения;
- среднеобъемная температура в помещении;
- расширяющиеся продукты сгорания при реализации пожара

ВСПЫШКИ.



Определение частоты реализации пожароопасных ситуаций (инициирующего события)

Для определения частоты реализации пожароопасных ситуаций на объекте используется информация:

- а) об отказах оборудования, используемого на объекте;
- б) о параметрах надежности используемого на объекте оборудования;
- в) об ошибочных действиях работника объекта;
- г) о гидрометеорологической обстановке в районе размещения объекта;
- д) о географических особенностях местности в районе размещения объекта.



Значение частоты реализации отдельной стадии дерева событий или сценария определяется путем умножения частоты возникновения инициирующего события на условную вероятность развития по конкретному сценарию.

Частоты реализации инициирующих пожароопасные ситуации событий для резервуара

Наименование оборудования	Инициирующее аварию событие	Диаметр отверстия истечения, мм	Частота разгерметизации, год ⁻¹
Резервуары для хранения ЛВЖ и горючих жидкостей (далее – ГЖ) при давлении, близком к атмосферному	Разгерметизация с последующим истечением жидкости в обвалование	25	$8,8 \cdot 10^{-5}$
		100	$1,2 \cdot 10^{-5}$
		Полное разрушение	$5,0 \cdot 10^{-6}$



**Кафедра пожарной безопасности
технологических процессов и производств**
**Вероятность возникновения события на основании
дерева событий при сливе топлива**



C₁ - выброс топлива с мгновенным воспламенением → сгорание первичного парогазового облака (хлопок) и пожар пролива → растекание горящего топлива по территории объекта → тепловое поражение людей, сооружений и оборудования

	Диаметр отверстия истечения	Частота разгерметизации	Условная вероятность воспламенения	Вероятность реализации сценария
Емкость (резервуар) с топливом)	25	$8,8 \cdot 10^{-5}$	0,015	$0,132 \cdot 10^{-5}$
	100	$1,2 \cdot 10^{-5}$	0,04	$0,048 \cdot 10^{-5}$
	Полное разрушение	$5,0 \cdot 10^{-6}$	0,05	$0,025 \cdot 10^{-5}$
			Итого:	$2,05 \cdot 10^{-6}$

C₂ - выброс топлива без мгновенного воспламенения → образование пролива → испарение и образование парогазового облака → воспламенение через 600 сек. → горение пролива → тепловое воздействие на людей, сооружения и оборудование → ликвидация пожара

	Диаметр отверстия истечения	Частота разгерметизации	Условная вероятность воспламенения	Вероятность реализации сценария
Емкость (резервуар) с топливом)	25	$8,8 \cdot 10^{-5}$	$0,985 \cdot 0,015 = 0,014$	$1,2 \cdot 10^{-6}$
	100	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$0,985 \cdot 0,042 = 0,041$	$0,49 \cdot 10^{-6}$
	Полное разрушение	$5,0 \cdot 10^{-6}$	$0,985 \cdot 0,061 = 0,06$	$0,3 \cdot 10^{-6}$
			Итого	$1,9 \cdot 10^{-6}$

C₃ - выброс топлива без мгновенного воспламенения → образование пролива → испарение и образование парогазового облака → воспламенение через 600 сек → дефлаграционное горение → поражение людей, зданий и сооружений в результате взрыва ТВС → ликвидация последствий ЧС

Емкость (резервуар) с топливом)	25	$8,8 \cdot 10^{-5}$	$0,985 \cdot 0,05 = 0,049$	$0,43 \cdot 10^{-5}$
	100	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$0,985 \cdot 0,05 = 0,049$	$0,058 \cdot 10^{-5}$
	Полное разрушение	$5,0 \cdot 10^{-6}$	$0,985 \cdot 0,05 = 0,049$	$0,025 \cdot 10^{-5}$
			Итого	$5,1 \cdot 10^{-6}$



Кафедра пожарной безопасности технологических процессов и производств



Таким образом, после построения логического дерева событий и оценки вероятности возникновения инициирующего события переходят к определению величины потенциального пожарного риска.

$$P(a) = \sum_{j=1}^J Q_{dj}(a) \cdot Q_j$$

где: J - число сценариев развития пожароопасных ситуаций (пожаров, ветвей логического дерева событий);

$Q_{dj}(a)$ - условная вероятность поражения человека в определенной точке территории (a) в результате реализации j -го сценария развития пожароопасных ситуаций, отвечающего определенному инициирующему аварии событию;

Q_j - частота реализации в течение года j -го сценария развития пожароопасных ситуаций, год⁻¹.

Итого вероятность возникновения какого-либо события связанного с пожаром (величина потенциального пожарного риска) при сливе нефтепродуктов из автоцистерны составляет:

$$Q_j = 2,05 \cdot 10^{-6} + 1,9 \cdot 10^{-6} + 5,1 \cdot 10^{-6} = 9,05 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$