



В.И.РОМАНОВ

ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ АВАРИЙНЫХ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ

Вадим Иванович Романов
Прикладные аспекты аварийных выбросов
в атмосферу. Справочное пособие

Текст предоставлен правообладателем
http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=6980421

*Прикладные аспекты аварийных выбросов в атмосферу. Справочное пособие.: Физматкнига;
Москва ; 2006
ISBN 978-5-89155-166-2*

Аннотация

Книга посвящена проблемам загрязнения окружающей среды при авариях промышленных предприятий и объектов разного профиля и имеет, в основном, обзорный справочный характер.

Изучается динамика аварийных турбулентных выбросов при наличии атмосферной диффузии, характер расширения турбулентных струйных потоков, их сопротивление в сносимом ветре, эволюция выбросов в реальной атмосфере при наличии инверсионных задерживающих слоев.

Классифицируются и анализируются возможные аварии с выбросами в атмосферу загрязняющих и токсичных веществ в газообразной, жидкой или твердой фазах, приводятся факторы аварийных рисков.

Рассмотрены аварии, связанные с выбросами токсикантов в атмосферу, описаны математические модели аварийных выбросов. Показано, что все многообразие антропогенных источников загрязнения атмосферного воздуха при авариях условно может быть разбито на отдельные классы по типу возникших выбросов и характеру движения их вещества. В качестве источников загрязнений рассмотрены пожары, взрывы и токсичные выбросы. Эти источники в зависимости от специфики подачи рабочего тела в окружающее пространство формируют атмосферные выбросы в виде выпадающих на поверхность земли твердых или жидких частиц, струй, терминов и клубов, разлитий, испарительных объемов и тепловых колонок. Рассмотрены экологические опасности выбросов при авариях и в быту.

Книга содержит большой иллюстративный материал в виде таблиц, графиков, рисунков и фотографий, который помогает читателю разобраться в обсуждаемых вопросах. Она адресована широкому кругу людей, чей род деятельности связан преимущественно с природоохранной тематикой: инженерам, научным работникам, учащимся и всем тем, кто интересуется экологической и природозащитной тематикой.

Содержание

Введение	5
Глава I.	8
1.1. Понятие выброса и классификация аварий	9
1.2. Сценарии развития аварийных ситуаций и их хронология	14
1.3. Математическое моделирование атмосферных выбросов	16
1.4. Типизация выбросов загрязняющих веществ в атмосферу	20
1.5. Определяющие параметры физико-математических моделей.	24
1.6. Атмосферные источники загрязнений при авариях	26
1.7. Зависимость аварий от условий окружающей среды	35
Глава II.	46
2.1. Взрывы	50
Конец ознакомительного фрагмента.	51

Вадим Романов
Прикладные аспекты аварийных
выбросов в атмосферу
(Справочное пособие)

Рецензенты:

доктор технических наук В.А.Алексащенко, доктор физико-математических наук
В.Н.Петров.

Введение

Загрязнение природной среды газообразными, жидкими и твердыми веществами и отходами производства вызывает деградацию среды обитания и наносит ущерб здоровью населения. Эта экологическая проблема, имеющая приоритетное социальное и экономическое значение, остается одной из наиболее острых для нашей страны. Влияние хозяйственной деятельности на окружающую среду характеризуется производством большого количества загрязняющих веществ, отходов и другими факторами, которые приводят к изменению естественных ландшафтов, загрязнению атмосферы и природных водных объектов.

За последние годы заметно сократилась государственная поддержка природоохранной деятельности, перманентные реорганизации, сопровождавшиеся снижением статуса и сокращением штатной численности и объемов бюджетного финансирования, поставили государственную систему охраны природы в критическое положение. Продолжение этого процесса реально угрожает разрушением природоохранных структур. «Дезэкологизация» государственного управления сопровождается усилением секретности и противозаконных ограничений в распространении экологической информации.

Продолжающийся в течение последних лет в Российской Федерации спад промышленного производства, характеризующийся остановкой одних предприятий и неполной загрузкой других, сопровождается некоторым сокращением антропогенной нагрузки на природные среды. В то же время снижение объемов загрязнений, образующихся на промышленных предприятиях и соответственно поступающих в воздух, водные объекты и почвы, не вызывает адекватного уменьшения техногенной нагрузки на окружающую природную среду, растет количество аварий.

Существующие системы обнаружения аварий не имеют средств контроля за выбросами ядовитых веществ с определением их концентраций и зон распространения, или эти средства несовершенны. Система обнаружения угрозы и факта возникновения аварий должна предвидеть потенциально опасную ситуацию еще на стадии ее «зарождения». По данным Госгортехнадзора России около 80% существующих технических средств имеют срок эксплуатации более 20 лет, морально и физически устарели. В докладах и итоговых документах Всероссийской конференции по экологической безопасности России 2005 года отмечается, что при теперешнем уровне антропогенных выбросов токсичных веществ экологическая безопасность, являющаяся неотъемлемой частью национальной безопасности страны, не может быть обеспечена.

Состояние экологической безопасности России вызывает глубокую тревогу, так как под угрозой находится здоровье десятков миллионов человек, проживающих на обширных территориях России. Эти территории фактически превратились в зоны экологического неблагополучия в результате прошлого и продолжающихся загрязнений. Отмечается рост масштабов эколого-техногенных катастроф и опасность экологического терроризма; нарастает опасное загрязнение продуктов питания, питьевой воды, причем появляются новые виды загрязнения (в том числе на генетическом уровне). Усиливаются тревожные тенденции деградации почв, сокращения биологического разнообразия флоры и фауны, истощительного использования природных ресурсов и катастрофического роста объемов незаконного промысла биоресурсов. Повсеместно не реализуются в полной мере конституционные права граждан России на благоприятную окружающую среду, доступ к экологической информации, компенсацию ущерба от экологических правонарушений и участие в принятии природоохранных решений.

Недостаточен государственный контроль в области природопользования и охраны окружающей среды, в ряде случаев не соблюдаются обязательства Российской Федерации

по международным конвенциям и соглашениям. Создавшееся неблагоприятное состояние природоохранных дел в России должно побудить разработчиков Новой техники и технологий XXI века более ответственно отнестись к проблематике антропогенных выбросов – в первую очередь их массовых и токсичных характеристик.

Выбросы загрязняющих и токсичных веществ в атмосферу появляются при нормальной работе и авариях в практически любых областях человеческой деятельности. Причем продолжительные выбросы, как правило, возникают при работе предприятий в нормальном режиме, а кратковременные и мгновенные, являющиеся предельным случаем кратковременных, – при авариях.

Аварийные выбросы, являющиеся одним из наиболее распространенных сверхнормативных поступлений загрязнений в атмосферу, появляются при хранении, транспортировке и изготовлении взрывчатых веществ (ВВ), в химической и нефтехимической промышленности, в ядерной энергетике, при разрыве сосудов высокого давления и бойлеров, при изготовлении, транспортировке и хранении легколетучих и сниженных газообразных топлив, при испарении криогенных веществ и т.п.

В настоящее время задача нахождения физических характеристик выбросов загрязняющих веществ решается применительно к конкретному источнику и веществу, причем делается акцент на особенностях именно этого источника и этого вещества без анализа возможной типизации возникшего выброса как атмосферного объекта. Для другого источника загрязнений и другого вещества задача получения его массовых, динамических, геометрических и концентрационных характеристик каждый раз решается заново.

Анализ выбросов загрязняющих и токсичных веществ в атмосферу показал, что имеются некоторые определяющие параметры, знание которых позволяет эту задачу типизировать по характеру выбросов и использовать стандартные системы уравнений, а иногда и готовые решения для нахождения их характеристик. Такими параметрами являются массовые, динамические и энергетические характеристики рабочего тела, а также физические характеристики окружающей среды. Эти исследования изложены в первой главе книги. В ней дается понятие выброса, классифицируются и типизируются аварийные ситуации, находят определяющие параметры физико-математических моделей загрязняющих объемов. Кроме того в первой главе рассмотрена целесообразность введения вторичного атмосферного источника и зависимость аварий от условий окружающей среды.

Вторая глава, имеющая в основном обзорный характер, посвящена описанию аварий с выбросом загрязняющих веществ в атмосферу, оценке их физических характеристик и факторов опасностей. Рассмотрены современные подходы к решению задачи нахождения физических и токсикологических характеристик взрывного характера, пожаров и токсичных выбросов.

В третьей главе на основе понятия вовлечения вещества окружающей среды в газообразный выброс рассмотрены важнейшие задачи поведения загрязняющих объемов в реальной атмосфере. Анализируется связь характеристик расширения струйных образований с погодными условиями и устойчивостью атмосферы, исследуются геометрические характеристики возникающих кратковременных выбросов. Кроме того, рассмотрены механизмы формирования кратковременных выбросов и их аэродинамическое сопротивление движению в потоке. Анализируются процессы дисперсии выбросов в реальной атмосфере при наличии температурных инверсий, задерживающих всплытие нагретых газовых объемов. Обсуждаются проблемы распада выбросов и рассеивания токсичных примесей из вторичных источников, возникающих при авариях.

Четвертая глава книги посвящена описанию выбросов, развивающихся в реальной атмосфере и пригодных для моделирования аварийных ситуаций. В этой главе даны примеры построения математических моделей опасных атмосферных явлений. Рассмотрены

практически все возможные атмосферные объекты, сопутствующие опасным экологическим ситуациям, начиная со струй, клубов, термиков, аэрозольных объемов и заканчивая разлетом весомой твердой фазы взрыва.

В пятой главе обсуждаются экологические опасности аварийных ситуаций, сопровождающихся выбросами загрязняющих и токсичных веществ при авариях разных типов и в бытовых условиях.

В приложениях приводятся данные о физических и экологических характеристиках взрывоопасных и токсичных веществ, а также медико-биологические характеристики сильнодействующих ядовитых веществ.

Обзор приведенных литературных источников может быть использован разработчиками и инженерами при идентификации конкретного атмосферного выброса и выбора расчетного метода его изучения.

Глава I.

Аварии с выбросом загрязняющих веществ в атмосферу и вопросы их математического моделирования

Несмотря на спад производства и осуществление ряда природоохранных мер экологическая ситуация в нашей стране остается неблагоприятной, а загрязнение природы – высоким.

Накопившиеся за десятилетия экологические проблемы усугубляются проблемами участвовавших в последние годы аварий и катастроф природного и техногенного характера. Не отвечает нормативным требованиям качество воды в большинстве водных объектов, усиливаются масштабы эрозии и утраты плодородия почв. Дegradiруют популяции редких видов флоры и фауны.

Недостаточно регулируемая эксплуатация природных ресурсов ведет к деградации целых природных комплексов. Обостряются экологические проблемы городов. Растут площади лесов, погибающих от пожаров и промышленных выбросов.

Значительные территории России опасно загрязнены в результате Чернобыльской катастрофы и радиационных аварий. Закончились эксплуатационные сроки многих атомных подводных лодок, ракетно-космических систем и ракетных топлив, места хранения и объекты по производству химического оружия создают неприемлемый риск для населения и экосистем.

Атмосфера является важнейшей природной средой, поддержания естественных фоновых показателей которой является одним из важнейших условий гармоничного развития жизни на планете. В то же время среднегодовые уровни загрязнений атмосферного воздуха в десятках городов превышают санитарные нормы. Большой, а иногда определяющий вклад в этот процесс приносят аварии, связанные с выбросом загрязняющих веществ в атмосферу в виде газов, паров, аэрозолей и относительно крупной твердой фазы.

Огромный планетарный энергетический и химический вклад человека в процессе развития многочисленных производств, сопоставимый с глобальными геологическими процессами, вызывает активизацию крупномасштабных же природных процессов. В частности – развитие тепличного эффекта и разрушение защитного озонового слоя, что грозит очередной экологической катастрофой уже не только всему человечеству, но и биосфере в целом. Ее предотвращение уже сейчас требует совместных действий всех экономически развитых стран, к чему пока не готовы ни правительства, ни народы этих стран.

Повсеместно отмечается, что количество техногенных происшествий (аварий и катастроф) имеет устойчивую тенденцию к возрастанию. Причем их вклад в суммарный негативный эффект деструктивного воздействия на природные среды стремительно увеличивается.

1.1. Понятие выброса и классификация аварий

Основными материальными носителями негативного воздействия человека на природные среды являются выбросы. Рассмотрим физическое содержание этого понятия, являющегося основополагающим при дальнейшем изложении материалов книги.

В результате жизнедеятельности живых организмов, различных явлений природы, а также хозяйственной деятельности человека возникают ограниченные объемы газов, содержащие в себе взвешенные жидкие или твердые вещества. С такими газообразными объемами, в дальнейшем кратко именуемыми выбросами, нам приходится иметь дело или наблюдать их ежедневно. Сюда можно отнести и шлейф из фабричной трубы или из двигателя самолета, облачко пара, вырывающееся из носика чайника, а также периодически выдыхаемые нами порции воздуха, насыщенного продуктами жизнедеятельности.

Подобные выбросы находятся под контролем человека, а потому являются неопасными. При непредвиденных ситуациях и авариях возникают неконтролируемые выбросы загрязняющих и токсичных веществ. Они часто являются объектами повышенной опасности и риска и привлекают профессиональный интерес специалистов.

Выбросом будем называть объем газа или пара со свободными или частично свободными границами, физические характеристики которого (состав, скорость движения, температура и т.п.) существенно отличаются от аналогичных характеристик вещества окружающей среды.

Из-за обмена вещества выброса с веществом окружающей среды вследствие диффузии его границы не являются четко выраженными. Они определяются областью, где выброс не потерял своей физической индивидуальности на фоне окружающей среды.

Процесс образования выброса может быть стационарным – продолжающимся практически непрерывно и поэтому независимым от времени, и кратковременным – продолжающимся некоторое ограниченное время. Мгновенный выброс является предельным случаем кратковременного выброса при времени его образования, стремящемся к нулю. Характерным примером мгновенного выброса является выброс при взрыве. Его можно рассматривать как объем смеси воздуха и продуктов чрезвычайно быстрых химических реакций при переходе потенциальной энергии топлива в кинетическую энергию продуктов произошедших реакций.

Кратковременными или стационарными могут быть выбросы из труб или сопел, выбросы продуктов горения, дымления или испарения в зависимости от времени их образования и газодинамических характеристик вещества выброса и окружающей среды.

На газообразные выбросы в общем случае действуют объемные и поверхностные силы. Изменение геометрических, массовых, динамических и концентрационных характеристик таких образований являются сложной аэродинамической задачей. Такие задачи являются актуальными при рассмотрении проблем антропогенного загрязнения окружающей среды, особенно при авариях.

Твердофазные выбросы, возникающие при взрывах, являются кратко-временными (или мгновенными), так как время их формирования на границе первичного взрывного источника составляет доли секунды. При дальнейшем движении в атмосфере по баллистическим траекториям на них действуют сила тяжести, а также сила аэродинамического сопротивления движению.

Перейдем теперь к определению понятий техногенных аварийных ситуаций или аварий и их источников.

В общем случае аварийная ситуация или авария на предприятии может быть определена [1] как «разрушительное высвобождение собственного энергозапаса промышлен-

ного предприятия, при котором сырье, промежуточные продукты, продукция предприятия и отходы производства, установленное на промышленной площадке технологическое оборудование, вовлекаясь в аварийный процесс, создают поражающие факторы для населения, персонала, окружающей человека среды и самого промышленного предприятия».

Теоретически на любом объекте можно представить бесконечное количество сценариев аварий, однако в действительности они могут быть реализованы далеко не все. Часть аварийных ситуаций невозможны по физическим соображениям, частично из-за нарушения причинно-следственных условий и связей. Такие сценарии должны быть отмечены на начальной стадии рассмотрения возможных аварий на данном объекте; остальные сценарии являются теоретически возможными или гипотетическими. В соответствии с этим гипотетической может быть названа любая авария, порожденная иницирующими событиями, не запрещенными законами природы [1].

В свою очередь гипотетические аварии по тяжести последствий весьма условно могут быть подразделены на проектные и запроектные или крупные.

Проектная авария – совокупность аварий, предусмотренных системами обеспечения безопасности промышленного предприятия. При проектных авариях предполагается гарантированное обеспечение определенного уровня безопасности, рассчитанное при проектировании объекта.

Химически опасные объекты, в состав которых входят емкости с агрессивными и высокотоксичными средами – жидкостями или газами, могут служить источником аварий нового типа – аварий с отсроченным временем наступления. Такая авария наступает, если в теле металлической емкости хранения продукта под действием поверхностных или объемных химических реакций с участием компонентов наполнителя нарушается структура кристаллической решетки металла. Это приводит к потере прочности и растрескиванию изделия, а в конечном счете к и его разгерметизации. Подобные реакции возможны при коррозии металла, кристаллитном и водородном охрупчивании, когда без всяких видимых причин изделие теряет целостность и протекает.

При длительном хранении продукта отсроченная аварийная ситуация возникает обычно после происшествия проектной аварии на химическом объекте, косвенно затронувшей емкость с продуктом. Она является «спусковым крючком» и катализатором деструктивных реакций в объеме металла и через некоторое время приводит к новой проектной или запроектной авариям. Такие аварии еще носят название триггерных [170].

Воздействиями, приводящими к авариям с отсроченным временем наступления, могут быть механические удары и взрывы, а также мощные электромагнитные и электрические импульсы и пробои. Любое внешнее воздействие на металл, способное инициировать в нем деструктивные реакции, может запустить механизм ускоренного разрушения и привести к отсроченной проектной или запроектной аварии. Аварийные ситуации с отсроченным временем наступления при пожаре на арсенале хранения химического оружия рассмотрены в работе [171].

При крупной аварии промышленного предприятия может возникнуть чрезвычайная ситуация, которая в техносфере определяется [1] как «комплекс событий, протекание или результат наступления которых приводит к реализации в районе инцидента опасностей для жизни и здоровья людей, а также материальных ценностей, нарушению экономической деятельности, нормального жизнеобеспечения, функционирования систем управления и связи, а также экологического равновесия». Чрезвычайная ситуация обуславливает необходимость привлечения внешних по отношению к аварийному району сил и средств.

Во всем мире наблюдается неуклонный рост количества аварий, связанный с интенсификацией хозяйственной деятельности человека, использованием все более сложной и энергоемкой техники и повышением концентрации производств.

Кроме того, свою лепту в создании аварийных ситуаций вносит и так называемый «человеческий фактор». Он характеризуется пренебрежением и некомпетентностью к технике безопасности при эксплуатации объекта и просчетами и ошибками при его проектировании и создании. Поэтому об абсолютно безаварийном промышленном предприятии можно говорить как о недостижимом идеале – любое производство, содержащее энергоактивные компоненты, является объектом ненулевого риска. В качестве подобных компонентов могут выступать процессы и материалы различной природы: физической, химической, биологической, радиационной. Все они являются потенциальными источниками нештатных ситуаций и аварий.

По характеру возникновения и протекания все многообразие техногенных аварийных происшествий (аварий), связанных с интенсивным высвобождением внутренней энергии рабочего тела, может быть классифицировано на три категории: пожары, взрывы и токсические выбросы (Рис. 1.1).

Пожары, являющиеся одними из самых распространенных аварийных происшествий, имеют в своей основе процессы окисления вещества, находящегося в газовой или паровой фазах. Выделяющаяся при этом теплота поддерживает реакцию горения. Например, при горении углеводородов они разлагаются на более короткие цепочечные углеводороды, которые, в свою очередь, сгорая, дают тепло и многие химические соединения, часть из которых токсична.

Характер пожаров в ограниченном и безграничном пространствах существенно различен из-за различия движений воздуха – конвективном в закрытом помещении и ветровом переносном на открытом пространстве. Условно пожары в ограниченном пространстве можно подразделить на локальные – относительно слабые и объемные, охватывающие практически все внутреннее пространство.

Пожары на открытом воздухе (в безграничном пространстве) условно подразделяют на локальные, площадные, объемные и струйные. Площадные пожары, как правило, характеризуются масштабами, сопоставимыми или значительно превышающими характерный размер пограничного слоя атмосферы ($> 0,5$ км). Площадное горение обычно охватывает полномасштабные проливы горючих веществ, леса и т.п.

Струйные пожары характерны в местах добычи, транспортировки и использования нефтепродуктов и газа, при аварийном разрушении сосудов с химически активными веществами, когда горящее рабочее тело поступает в атмосферу под большим давлением, а также при возникновении тепловых колонок – мощных восходящих потоков высокоэнергетичных продуктов горения.



Рис.1.1. Схема возможного развития аварийных ситуаций с поступлением вредных веществ в атмосферу.

Объемный пожар характерен для разгерметизации резервуаров с жидкостями или газами, когда происходит их взрывообразное расширение и загорание. Такие аварии возникают при вскипании воспламеняющихся жидкостей и сжиженных газов после разрушения емкостей, в которых они находились.

При авариях взрывного характера внутренняя энергия рабочего тела в результате окислительных реакций выделяется чрезвычайно интенсивно. Взрывы в безграничном пространстве и в помещениях происходят практически одинаково. Они классифицируются на взрывы конденсированных взрывчатых веществ (ВВ) и объемные взрывы.

Конденсированные взрывчатые вещества существуют в твердом и жидком виде. Их плотность составляет не менее $(1,5-1,8) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Скорость высвобождения энергии в конденсированных ВВ приблизительно равна скорости звука в веществе (от 2 до 9 км/с). Взрывы сопровождаются ударными волнами и излучением, приводящими к разрушениям объектов, пожарам и поражениям персонала.

При объемных взрывах окисляющееся рабочее тело находится в виде смеси воздуха, пыли, пара или аэрозоли. Плотность таких смесей слабо отличается от плотности атмосферного воздуха. Окислительная взрывообразная реакция в таких объемах может быть инициирована механически, электрическим разрядом или теплом.

Аварии в виде токсических выбросов представляют собой разовые интенсивные (продолжительностью не более часа [1]) поступления в атмосферу токсичных веществ – ингредиентов, которые, «будучи введены внутрь или поглощены живыми существами, приводят к их гибели или вредят здоровью». В организм токсические вещества могут попадать с пищей и водой (перорально), через кожные покровы (кожно-резорбтивно) и с воздухом при вдыхании (ингаляционно).

Аварии в виде токсических выбросов протекают по-разному в зависимости от того, в какой среде они происходят – в ограниченном пространстве или на открытом воздухе.

В зависимости от состояния вещества токсические выбросы в безграничном пространстве существуют в виде проливов (разлитий), взвесей токсикантов в атмосферном воздухе (туманов, задымлений, запылений) или клубов (облаков).

В ограниченном пространстве токсические выбросы находятся либо в виде проливов, либо в виде гомогенных выбросов, заполняющих весь объем помещения [2].

1.2. Сценарии развития аварийных ситуаций и их хронология

Возникновение и развитие аварийных ситуаций на различных промышленных объектах могут происходить по бесконечному количеству вариантов, и полное их рассмотрение, учет и обсуждение не имеет смысла. Целесообразно рассмотрение происшествий ограничить априори введением какого-либо критерия, уровня или ограничения.

В настоящее время не решено [1], является ли индивидуальный или социальный риск той величиной, на основании которой следует принимать решение о приемлемости той или иной технологии с позиций безопасности.

До сих пор нет однозначного ответа на вопрос: допустима ли катастрофическая авария, если ее вероятность мала, и можно ли при ее угрозе эксплуатировать промышленный объект? И хотя с моральных позиций любой (положительный или отрицательный) ответ на этот вопрос представляется спорным, для целей практики анализ сценариев наихудших или максимально возможных аварий вполне оправдан, т.к. его результаты дают информацию для подготовки к действиям в чрезвычайных ситуациях. Такой анализ определяет возможные затраты сил и средств для защиты персонала, населения и окружающих природных сред.

Кроме того, целесообразно разработать и подробно исследовать последствия наиболее вероятной аварии для данного предприятия или промышленного объекта, основываясь на анализе статистических данных по происшествиям, последовательности (хронологии) их развития и заключениях экспертов.

Последовательности развития гипотетических аварий, схема которых приводится на Рис.1.2, показывают, что практически при любой крупной аварии на промышленном объекте возникает очаг загорания, обусловленный большим количеством горючих материалов, имеющихся на производстве.

Известно, что при воспламенении горючих газовых или пылегазовых смесей по ним распространяется пламя, представляющее собой супер-позицию химических реакций с выделением большого количества тепла. При детонации эти процессы происходят чрезвычайно быстро, что приводит к образованию взрывной волны; при сравнительно медленном горении большинства пылегазовых горючих смесей взрывная волна не возникает. Поэтому, несмотря на широкое распространение в литературе такого названия, взрыва как такового не возникает. Подобное ошибочное толкование горения (без детонации) газообразных и парообразных веществ связано, очевидно, с видимыми результатами этого явления, приводящего к повышению давления в помещениях и к их частичному или полному разрушению. Поэтому, если не разделять процессы горения, носящего по своим внешним проявлениям характер взрыва, и собственно разрушения оболочек, а рассматривать все явление в целом, то такую аварийную ситуацию можно считать взрывом.

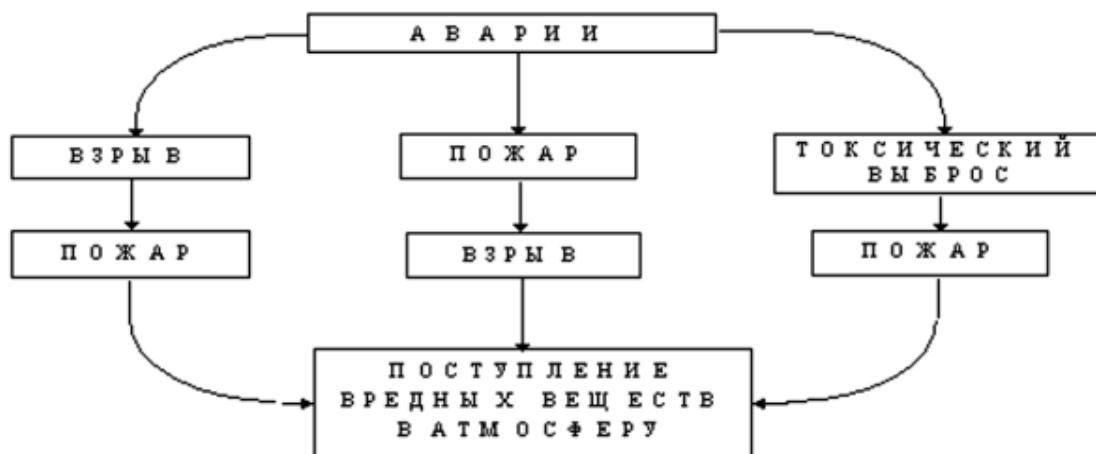


Рис.1.2. Схема хронологии развития аварий.

Таким образом, называя горючие газообразные и парообразные вещества, а также пылегазовые смеси взрывоопасными, а их горение – взрывом, следует помнить об условности этих терминов. На практике часто невозможно с полной уверенностью идентифицировать горение и взрыв, а также установить последовательность этих событий. Следует отметить, что вероятность пожара после взрыва очень велика. Реализация взрыва после пожара или пожара после выброса токсического вещества в атмосферу в заметной степени обусловлены термодинамическими характеристиками рабочих тел, их физическим состоянием, наличием доступа окислителя и т.п. В любом случае, как это следует из схемы Рис. 1.2, авария на крупном промышленном производстве приводит к выбросу в окружающую среду токсических веществ

1.3. Математическое моделирование атмосферных выбросов

В настоящее время усилиями ученых всего мира создан единый фонд моделей процессов, протекающих в живой и неживой природе. Эти модели, как правило, основываются на небольшом числе фундаментальных принципов, связывающих воедино разнообразные факты и представления естественных наук. Каждая модель в этом фонде занимает определенное место, установлены пределы ее применимости и связь с другими моделями. Наличие такого фонда моделей придает уверенность исследователям при их использовании в практической деятельности – ведь каждая из этих моделей благодаря связям с другими моделями опирается не столько на специфическую проверку ее самой, сколько на весь практический опыт человечества. Для каждого конкретного объекта в этом фонде можно выбрать наиболее подходящую модель или модифицировать ее из близких по характеру моделей.

Применительно к задачам охраны окружающей среды развитость теорий возникновения и трансформации загрязняющих веществ в природных средах, проявившая себя в наличии грандиозного фонда природных процессов, с одной стороны, определяет высокую эффективность использования математических моделей и методов в инженерной практике, а с другой стороны – дает исследователям единую картину окружающего мира.

В целом основу конструктивного подхода к проблеме взаимодействия человека с природой дает моделирование (в частности, математическое) в сочетании с целенаправленными экспериментальными исследованиями. Загрязнение природных сред – одно из наиболее типичных проявлений такого взаимодействия.

Множество факторов, которое необходимо учитывать в моделях, находится на стыке ряда исследовательских программ [18-23], реализуемых в рамках наук о Земле. Комплексный характер подобных программ и наличие сложных прямых и обратных связей между гидрометеорологическими процессами, загрязнением природных сред, биосферой активно стимулируют разработки теоретических основ и системной организации математических моделей. На этом более высоком уровне системная организация оперирует с «простейшими» моделями как с элементарными объектами.

Применительно к математическому моделированию процессов возникновения и развития в атмосфере аварийных выбросов загрязняющих и токсичных веществ будем исходить из моделей физических процессов. К ним относятся модели гидротермодинамики атмосферы различных пространственно-временных масштабов, а также модели переноса и трансформации примесей, различные способы параметризации и т.п. В литературных источниках имеется достаточно много подобных разработок [21-23]. Их физический смысл и различия между ними зависят от конкретной постановки задач. В любом случае применительно к решению задачи методами численного моделирования исходят из понятий функций состояния и параметров.

Для удобства и краткости изложения воспользуемся операторной формой [19]. Обозначим векторную функцию состояния через $\vec{\varphi}_j$. К числу ее составляющих относятся поля гидрометеорологических элементов и концентраций загрязняющих примесей.

Вектор параметров обозначим $\vec{Y}$. Параметрами являются коэффициенты уравнений, параметры области интегрирования D_t сеточной области D_t^h , области размещения наблю-

дательных систем D_t^m , начальные значения функций состояния, распределения и мощности источников тепла, влаги и других примесей и компонентов.

В операторном виде математическая модель описываемого процесса имеет следующий вид:

$$B \cdot \frac{\partial \vec{\varphi}}{\partial t} + G(\vec{\varphi}, \vec{Y}) = \vec{f}(x, t), \quad (1.1)$$

$$\vec{\varphi} \in Q(D_t), \quad \vec{Y} \in R(D_t).$$

Здесь:

$G(\vec{\varphi}, \vec{Y})$ – нелинейный дифференциальный оператор матричной структуры, дей-

ствующий на множествах функций $\vec{\varphi}$ и $\vec{Y}$;

$Q(D_t)$ – пространство функций состояния, удовлетворяющих граничным условиям;

$R(D_t)$ – область допустимых значений параметров;

B – диагональная матрица, в которой все или часть элементов могут быть нулями;

$\vec{f}(x, t)$ – источники;

$D_t = \{D \times [0, \bar{t}]\}$ – , где D – область изменения пространственных переменных;

$[0, \bar{t}]$ – интервал изменения времени t .

Входящий в соотношение (1.1) оператор $G(\vec{\varphi}, \vec{Y})$ – определяется уравнениями гидротермодинамики системы атмосфера – почва – вода, переноса и трансформации примесей, а также условиями на границах раздела.

Граничные и начальные условия записываются для конкретного физического содержания модели.

В частности, для математической модели переноса примесей в атмосфере, которая входит в состав уравнения (1.1) в качестве составной части, получаем уравнение

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} + \text{div } c_i \vec{u} - \text{div}_s \mu \cdot \text{grad}_s c_i - \frac{\partial}{\partial z} v \cdot \frac{\partial c_i}{\partial z} + B_i(\vec{c}) = f_{0i}(x, t), \quad (1.2.)$$

Эта модель учитывает процессы возможной трансформации веществ, турбулентного обмена и обменных процессов между природными средами: водой, воздухом и почвой.

В соотношении (1.2):

$$\vec{c} = \{c_i, i = \overline{1, n}\} \text{ – концентрация примесей;}$$

$\vec{u}$ – вектор скорости с компонентами u, v, w в направлении пространственных координат $\vec{x}(x_1, x_2, x_3)$ соответственно;

μ и ν – коэффициенты турбулентности в горизонтальных (x_1, x_2) и вертикальном ($x_3 = z$) направлениях;

индексом s отмечены операторы, действующие в горизонтальных направлениях;

$$B_i(\vec{c}) \text{ – операторы трансформации примесей;}$$

$f_{0i}(\vec{x}, t)$ – источники примесей (одновременно учитываются источники естественного и антропогенного происхождения).

Отметим, что операции с вектором $\vec{c}$ реализуются покомпонентно, т.е. уравнение

(1.2) представляет собой систему n уравнений в частных производных. Оператор $B(\vec{c})$ – в общем случае нелинейный. Он определяет скорость изменения концентраций c_i за счёт химических и фотохимических реакций. Скорости вертикального движения частиц (оседания или всплытия) учитываются функцией w . Примеси – многокомпонентны, количество компонент – входной параметр модели. На практике параметр модели определяется количеством химических веществ, участвующих в реакциях.

Модель дополняется начальными и граничными условиями:

$$\vec{c}(\vec{x}, 0) = \vec{c}^0(\vec{x}) \text{ при } t = 0 ; \quad (1.3)$$

$$R_1(\vec{c}) = \vec{f}_1(\vec{x}, t) \text{ при } z = z_s(\vec{x}) ; \quad (1.4)$$

$$R_2(\vec{c}) = \vec{f}_2(\vec{x}, t) \text{ при } z = H . \quad (1.5)$$

Здесь:

R_1 и R_2 – некоторые операторы;

$\vec{f}_1$ и $\vec{f}_2$ – источники и стоки примесей на верхней и нижней границах области D .

Для глобальной модели задаются условия периодичности всех функций на поверхности сферы, а для моделей на ограниченной территории – условия на поля концентраций на боковых границах области D_t .

Процессы взаимодействия примесей с подстилающей поверхностью, включая обменные процессы между воздухом, водой, почвой и растительностью, описываются оператором

$R_1(\vec{c})$. Причем вектор концентраций $\vec{c}$ включается в вектор-функцию состояния системы в целом, а коэффициенты уравнений (1.2) и граничных условий (1.4), (1.5), а также

начальные условия (1.3), функции источников $\vec{f}_1, \vec{f}_2, \vec{f}_0$ и константы скоростей газо-

фазных реакций в операторе $B(\vec{c})$ включаются в вектор параметров.

Отметим, что в вычислительных моделях [19] используется расширительное понятие параметров, включая в их число не только численные значения некоторых величин, но и алгоритмы их вычисления. Тогда в число параметров попадают схемы реакций, алгоритмы вычислений радиационных потоков тепла, коэффициентов турбулентного обмена, а также коэффициентов в моделях взаимодействия воздушных масс с подстилающей поверхностью.

Развитием представленных здесь подходов для построения дискретных аналогов моделей и вычислительных алгоритмов применяются вариационные принципы [19], использование которых дает качественно новую информацию о поведении математической модели.

Очевидно, что в процессе численного моделирования не должен потеряться смысл, заложенный в исходных постановках задачи, а результаты вычислений должны соответствовать реально протекающим процессам.

При решении практических задач всегда остро стоит проблема задания входных параметров и начальных данных, информация о которых, как правило, является отрывочной и неполной. Поэтому использование многомерных и многокомпонентных моделей, создавая иллюзию детального рассмотрения процесса, не способно выдать результаты, точность которых превышает точность исходных постановочных параметров. Каждая математическая модель только тогда может считаться состоявшейся, когда проведена оценка достоверности результатов ее использования.

1.4. Типизация выбросов загрязняющих веществ в атмосферу

Выбросы загрязняющих и токсичных веществ в атмосферу могут быть типизированы по разным параметрам :

- по времени формирования выброса (мгновенные, кратковременные, продолжительные);
- по пространственной протяженности выброса (локальные, компактные и протяженные);
- по степени турбулизации вещества (турбулентные и ламинарные);
- по наличию вещества в разных фазах (плазменные, газообразные или парообразные, жидкофазные или твердофазные, многофазные);
- по химической активности вещества (химически активные и пассивные).

В «чистом» виде при таких типизациях выбросы токсикантов встречаются сравнительно редко; обычно антропогенный выброс представляет собой комбинацию типов разных видов. Например, струйные течения (струи) включают в себя сочетание пространственно-временной типизации выбросов вдобавок к другим типизациям в зависимости от динамической и химической активности вещества, а также наличия одной или нескольких фаз состояния вещества.

Термики можно определить как компактные вихревые выбросы вещества разной степени химической активности, клубы – как турбулентные компактные объемы и т.п.

В терминах временной типизации, являющейся в наибольшей степени инструментально обоснованной, выбросы условно можно подразделить на мгновенные, продолжительные и кратковременные. Рассмотрим условия формирования и специфику таких выбросов.

Мгновенные выбросы возникают при чрезвычайно быстром выделении энергии и (или) вещества в окружающее пространство. При этом выброс формируется в виде тора с циркуляционным движением вещества относительно направления выхода рабочего тела. Подобные выбросы возникают при взрыве ядерного заряда, емкостей с углеводородным топливом в газовой фазе или перегретым паром, при взрыве детонирующего химического взрывчатого вещества (ВВ) и т.п. Распределение физических характеристик в таком выбросе имеет существенно неоднородный характер, и появившийся после взрыва тороидальный объем под действием сил плавучести начинает двигаться в атмосфере.

Продолжительные выбросы формируются в виде протяженных образований (струй) – объемов с неоднородным вдоль течения распределением динамических, тепловых и концентрационных характеристик. В зависимости от соотношения плотности вещества струи и вещества окружающего воздуха они либо всплывают, либо опускаются. Расчет характеристик струйных течений является хорошо изученным вопросом.

Кратковременные выбросы возникают в виде компактных клубов и термиков. Клубом называется турбулентный изолированный объем хаотически движущихся вихрей разного размера и ориентации. Растянутость по времени выхода рабочего тела и высокий уровень его турбулентности приводят к тому, что к моменту окончания выхода загрязняющих веществ в атмосферу формируется ограниченный объем практически однородный по составу с относительно небольшими отличиями размеров в разных направлениях. Термик отличается от клуба наличием кругового движения вещества относительно направления его движения.

Следует подчеркнуть условность разделения источников по продолжительности выхода рабочего тела. Это касается четкой временной границы, отделяющей мгновенные выбросы от кратковременных. На практике случается, что выброс, происходящий корот-

кое время, формирует практически однородное пространственное распределение массовых, термодинамических и концентрационных характеристик. Такой случай может реализоваться при малом отличии плотности рабочего тела от плотности окружающей среды (инжекция газа при $T = \text{Const}$, «взрывающиеся проволочки» и т.п.). Основным критерием кратковременности выброса в любом случае следует считать после прекращения действия источника наличие сильно турбулизованного, а потому хорошо перемешанного вещества в компактном объеме.

Применительно к вопросам математического моделирования основной характеристикой выброса, определяющей его рассмотрение как физического объекта, является его фазовое состояние [73]. В зависимости от этого применяется эйлеров, либо лагранжевый подходы. В свою очередь типизация газопарообразных выбросов по пространственно-временной и турбулентной характеристикам также важна, так как она определяет характер уравнений сплошной среды, описывающих возникновение и эволюцию подобных образований – либо это уравнения, характеризующие ламинарное поступательное или вращательное движение сплошной среды, либо уравнения типа Навье-Стокса, описывающие движение турбулентной компактной или протяженной области.

Выбросы загрязняющих и токсичных веществ, связанные с деятельностью человека, по характеру возникающего источника целесообразно подразделить на твердофазные (жидкофазные) и газообразные (парообразные). При этом для описания движения твердой (жидкой) примеси используются уравнения баллистики, для газовой или паровой – уравнения сплошной среды. В дальнейшем для сокращения записи будем указывать только газообразные и твердофазные выбросы, имея в виду, что все получаемые результаты пригодны и для паровых и жидких фаз, соответственно.

Отметим, что антропогенные твердофазные выбросы имеют преимущественно взрывное происхождение в отличие от парогазообразных, которые возникают от многих причин: при взрыве, испарении, горении и др. Наиболее важные для практических приложений газопаровые выбросы реализуются в виде струй, термиков и клубов – турбулизованных объемов, термодинамические и концентрационные характеристики которых отличаются от соответствующих характеристик окружающей среды.

Необходимо отметить, что предлагаемая типизация выбросов по фазовому характеру создаваемых ими источников загрязнений объектов имеет универсальный характер, т. е. может быть применена и к радиационным, и к химическим авариям. В любом случае эти аварии приводят к поступлению в атмосферу определенных количеств хорошо перемешанных загрязняющих веществ в парогазовой фазе, либо твердых (жидких) частиц. В конечном счете при разбавлении в атмосфере аварийного парогазового выброса, либо выпадении твердофазного, формируются пространственное и наземное поля концентраций токсикантов.

Кратковременные твердофазные и газообразные выбросы, возникающие в атмосфере в результате быстрой трансформации внутренней энергии рабочего тела в другие виды энергии (в тепловую при горении, в кинетическую движущихся частиц при взрыве, в энергию фазовых переходов при испарении) представляют важное место в проблеме загрязнения окружающей среды антропогенными источниками. Твердофазные выбросы при этом представляют собой разлетающиеся с места взрыва куски химически не прореагировавшей части раздробленного рабочего тела (топлива, грунта, взорвавшегося объекта и т.п.), газообразные (парообразные) выбросы в виде объемов интенсивно турбулизованных продуктов детонации (испарения) в смеси с воздухом, возникающих после прекращения работы источника вещества и энергии.

Разлет раздробленной детонацией твердой фазы взрыва происходит независимо от механических и физических характеристик подрываемых объектов. При любом взрывообразном выделении энергии ВВ, размещенного на подстилающей поверхности или на некото-

ром возвышении, будет происходить образование взрывной воронки, ударных воздушной и сейсмических волн, дробление грунта и ВВ, фрагментация подрываемого изделия или объекта, а также образование газогрунтового и первичного пылегазового выбросов.

При взрыве ВВ в атмосфере или на подстилающей поверхности разлет твердой фазы взрыва и ее выпадение на эту поверхность определяется основными соотношениями сохранения макроскопических характеристик подрываемого вещества и вовлеченных в этот процесс объектов (грунта, воздуха и т.п.), а также уравнениями баллистики. Такими соотношениями являются уравнения сохранения массы вещества и массы примеси в выбросе, уравнение сохранения количества движения разлетающегося вещества, а также уравнение сохранения энергии и уравнение состояния в форме динамического равновесия давлений атмосферного воздуха и давления газообразной части сформировавшегося выброса.

Параметры газообразного или парообразного выброса могут быть получены при использовании соотношений сохранения макроскопических характеристик вещества, осредненного по объему выброса. Эти соотношения выражают собой законы сохранения массовых, динамических и энергетических параметров вещества турбулентного объема в процессе его формирования с «подпиткой» от источника вещества и энергии при наличии химических реакций и фазовых переходов. Они в конечно-разностной форме в общем виде записываются так [4, 41–46]:

$$M_2 = M_1 + Q_0 \Delta t + E S \Delta t ,$$

$$M_{2i} = M_{1i} + Q_0 C_{i0} \Delta t + E S C_{ie} \Delta t ,$$

$$M_2 V_2 = M_1 V_1 + g(\rho_e - \rho) v \Delta t ,$$

$$P = P_e ,$$

$$M_2 \Xi_2 = M_1 \Xi_1 + Q_0 q_T \Delta t + E S \Xi_e \Delta t + \Delta Q_{\text{ФП}} + W_j q_x \Delta t - H \Delta t \text{ где:}$$

M, M_i – масса вещества выброса и масса i -ой примеси в нем,

Q_0 – расходная функция формирующегося выброса,

C_i – массовая концентрация i -ой примеси, $C_i = M_i / M$,

Ξ, Ξ_e – полные энергии единицы массы вещества выброса и окружающей среды,

ρ, v, V, S – плотность выброса, его объем, скорость его движения и площадь вовлечения

E в него окружающей среды,

g – ускорение земного притяжения,

q_T – теплотворная способность топлива,

P – давление газа или пара,

W_i – скорость образования i -ой примеси в результате химических реакций с теплотой образования q_x в объеме выброса,

$\Delta Q_{\text{ФП}}$ – теплота фазовых переходов (парообразования или конденсации для жидкой испаряющейся части выброса),

H – потери энергии выброса (излучение, контакт с подстилающей поверхностью, с выпадающей примесью и т.п.).

Индексы «1» и «2» относятся к соответствующим моментам времени $t_2 = t_1 + \Delta t$, индексы "0" и "e" относятся к параметрам истечения и параметрам окружающей среды.

При рассмотрении струйного течения конечноразностные уравнения записываются относительно поточных характеристик: расхода вещества и примеси, потоков количества движения и энергии.

Полученные нами [41, 43–46, 73] конечно разностные уравнения при устремлении временного интервала Δt к нулю преобразуются в дифференциальные. Их решение при задании начальных условий, параметров окружающей среды и характеристик объекта (геометрических и термодинамических) позволяют решать задачу нахождения геометрических, дина-

мических, тепловых и концентрационных характеристик турбулентного объема (выброса), движущегося в произвольной окружающей среде.

1.5. Определяющие параметры физико-математических моделей.

Исследованиям физических процессов, описывающих возникновение и эволюцию выбросов загрязняющих и токсичных веществ в атмосфере, посвящено большое количество работ. Получаемые результаты на различных этапах по отдельным вопросам или по проблеме в целом обобщались в монографиях и книгах, а также периодических изданиях. Основная часть работ по тематике твердофазных выбросов посвящена фракционированию и образованию частиц при ядерных и химических взрывах [48, 49, 50-61], физическим характеристикам отдельных частиц от мощных воздушных взрывов, выпадению частиц из взрывного облака. Однако взрывной разлет твердой фазы взрыва в ветровом потоке не привлекал внимания исследователей.

Подробно разлет частиц при взрывах разных веществ и в разных сосудах в условиях спокойной атмосферы рассмотрен в работе [77]. Анализируя данные работ, рассматривающих возникновение и движение в атмосфере твердофазных частиц, можно сделать вывод о наиболее важных параметрах подобных задач. Ими являются энергетические свойства ВВ и механические свойства подстилающей поверхности. В работе [73] рассмотрено движение частиц после взрыва в ветровом потоке и сделан вывод о необходимости в дополнение к вышеназванным параметрам еще учета метеорологических параметров в месте проведения работ. Только при этом условии можно ожидать получения правильной расчетной информации о динамических и геометрических характеристиках твердой фазы взрыва и о характеристиках плотности ее выпадения на поверхность земли.

Обобщая данные о физических процессах возникновения и движения в атмосфере частиц, можно сделать вывод, что определяющими параметрами при создании физико-математических моделей твердофазных кратковременных выбросов являются:

- массовые, энергетические и термодинамические характеристики ВВ, участвующих в процессе аварии;
- массовые и геометрические характеристики аварийного объекта или его взорвавшейся части;
- прочностные и массовые характеристики подстилающей поверхности (грунта);
- метеорологические данные;
- временные, геометрические и конструкционные особенности освобождения энергии и рабочего тела (сценарий и схема выброса, приподнятость над поверхностью земли и т.п.).

Что касается физических процессов возникновения и движения в атмосфере газообразных выбросов, то таких исследований в настоящее время достаточно много. Основная их часть проведена в лабораторных условиях.

Рассмотрены выбросы продуктов горения высококалорийных топлив, изучается детонация ВВ в начальной фазе развития взрывного выброса и в процессе его теплового всплытия. Рассматриваются термики и вихревые кольца [3, 5, 6, 38-40], а также кратковременные выбросы в виде однородных клубов [7-15, 24, 35-37]. Необходимо отметить, что строгие математические модели для описания таких процессов создать чрезвычайно трудно, поскольку, с одной стороны, не ясна физическая картина развития течения в условиях неполной информации о самом объекте и об окружающей среде, с другой стороны, трудности численных решений термогидродинамических уравнений создают принципиальные и часто непреодолимые препятствия. В связи с этим исследователи часто ограничиваются моделями, использующими для описания начального распределения примеси в пространстве данные натурных наблюдений.

Совместное рассмотрение эмпирических данных и результатов математического моделирования позволяет сделать достаточно объективную оценку геометрических характеристик выброса, включая высоту его подъема и объем, а также его динамические характеристики и начальное распределение загрязняющей примеси в атмосфере. Эти данные являются входными параметрами для задачи распространения примеси в атмосфере.

Обобщая результаты отмеченных выше работ, можно сделать вывод о том, что исходными данными для построения таких моделей должны быть динамические и энергетические характеристики выброса, а также начальное распределение загрязняющей примеси в пространстве и распределения метеорологических параметров.

Определяющими параметрами при создании физико-математических моделей газообразных выбросов являются:

- характер выброса по продолжительности выхода рабочего тела (мгновенный, кратковременный, продолжительный);
- массовые, энергетические и динамические характеристики сформировавшегося выброса;
- физические характеристики твердой и аэрозольной фазы в выбросе;
- данные о возможных химических реакциях и фазовых переходах;
- метеоданные, включая информацию о высотных градиентах метеорологических параметров.

Таким образом, принципы создания физико-математических моделей возникновения и движения в атмосфере выбросов загрязняющих и токсичных веществ основываются на выделении и детальном анализе основных определяющих характеристик объекта исследования. К наиболее общим основным особенностям исследования относятся:

- учет специфики выброса по характеру фазы (твёрдофазные, газообразные);
- учет зависимости типа выброса от времени действия источника и турбулизации вещества выброса;
- учет общей энергии и ее долей, вносимых источником в выброс;
- учет массовых и энергетических характеристик рабочего тела;
- учет метеоданных и их высотных распределений;
- учет данных о возможных химических реакциях и фазовых переходах.

1.6. Атмосферные источники загрязнений при авариях

Антропогенные аварии, как правило, сопровождаются поступлением в окружающую среду загрязнений в газообразном, жидком или твердом виде. Их физико-химические характеристики соответствуют параметрам рабочих тел, из которых на месте происшествия образуется собственно первичный источник загрязнений. Его формирование заканчивается с окончанием поступления в атмосферу вещества и выравниванием его давления до значений давления в окружающем пространстве.

Вторичный атмосферный источник возникает как естественное продолжение первичного источника в пространстве или во времени. В реальной турбулентной атмосфере быстро возникающий газообразный вторичный источник в виде компактного объема имеет практически однородную структуру макроскопических характеристик. Поэтому такие источники представляют в виде клубов хорошо перемешанного (однородного) вещества с центром приложения массовых сил в геометрическом центре объема [3].

При длительном поступлении рабочего тела в атмосферу возникают струи, а при промежуточном между кратковременным и стационарным в пространстве может сформироваться сложный газовый объем, моделирование физических характеристик которого весьма проблематично. В этом случае прибегают к модельной замене реального объекта правильными геометрическими телами типа полусферы, сферы, цилиндра и т.п. или комбинациями таких тел. В частности, линейный и точечный источники являются идеализациями источников конечных размеров при устремлении их характерных размеров к нулю.

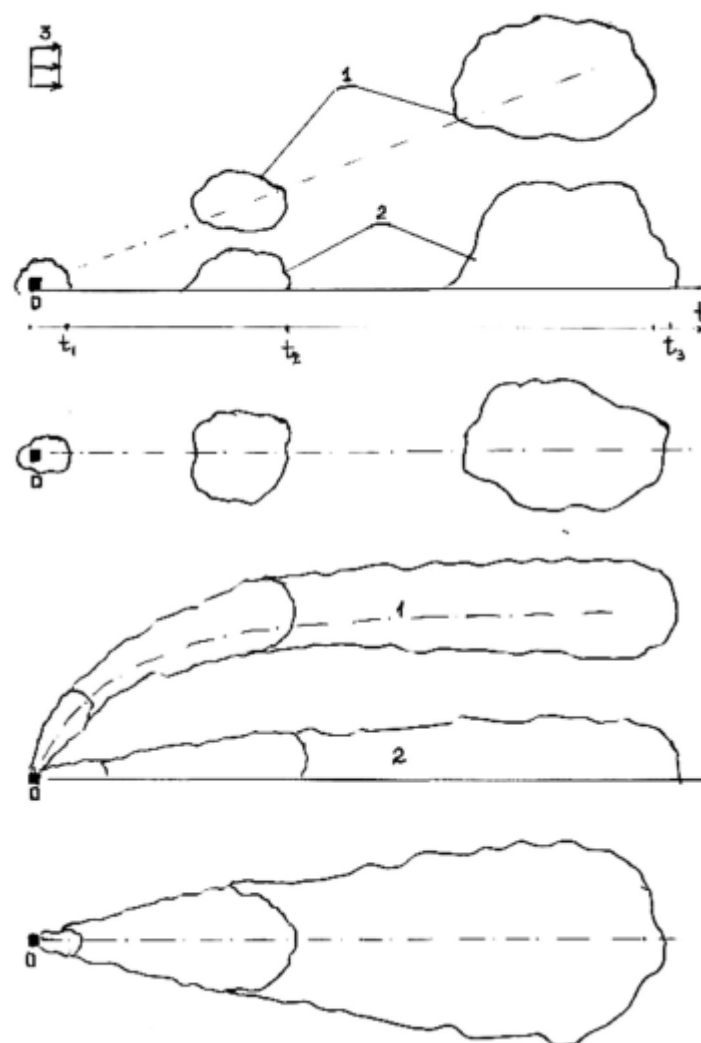


Рис.1.3. Схема развития по времени аварийных выбросов в атмосфере из кратковременных и продолжительных источников для легкого (1) и тяжелого (2) газов: t_1 , t_2 , t_3 – моменты времени после выхода газа.

Процессы формирования и движения в атмосфере газообразных выбросов зависят также от их плотности. Если рабочее тело тяжелее воздуха, то выброс тяготеет к поверхности земли, при легком газе – всплывает в атмосфере (Рис.1.3).

В зависимости от условий поступления рабочего тела в атмосферу и характеристик окружающей среды при одной аварии могут последовательно формироваться различные вторичные источники – объемные могут трансформироваться в площадные, а площадные в объемные.

Все многообразие атмосферных модельных источников, эквивалентных реальным загрязняющим образованиям, можно условно подразделить на несколько типов или видов. Простейшим эталонным является точечный источник загрязнений, используемый при расчетах загрязнений природных сред как идеализация реального выброса с гауссовским распределением примеси.

Другими модельными источниками являются линейные – источники в виде прямых линий конечной или бесконечной протяженности, испускающими загрязняющую примесь в поперечном направлении. Приподнятые и высотные линейные источники используют при получении аналитических решений задач распространения загрязняющих примесей за ракетным следом, выхлопом летящего самолета и другими протяженными объектами. Линейными наземными источниками моделируют автодороги, шоссе, взлетные полосы аэродромов и т.п.

Наземный площадной источник возникает при горении больших площадей леса, разлитого жидкого топлива, испарении жидкостей и т.п.

Еще один площадной источник в виде поперечного сечения струи в месте потери потоком динамической индивидуальности возникает при горении в относительно компактном очаге. Такой источник имеет приподнятый характер.

И наконец, приподнятый объемный источник используют для моделирования выбросов, возникающих при взрывах после выравнивания давления внутри и снаружи возникшего объема. Такие источники появляются также после быстрого сгорания топлива, «одномоментного» испарения жидкостей, криогенного испарения продуктов и некоторых других процессов быстрого фазового перехода веществ из одного состояния в другое.

Источниками сложной формы представляются выбросы с «ножкой», плавучие струи, выбросы при пожарах разнотипных объектов, при комбинированных авариях (взрыв + пожар, пожар + пролив, взрыв + пролив и т.п.). Они моделируются суперпозицией геометрических простых объемов.

Парожидкостные или аэрозольные (дымовые) выбросы моделируются геометрическими телами с равномерно распределенной по объему примесью, твердофазные или жидкокапельные – весовыми частицами геометрически правильной формы.

Поскольку рассеивание загрязнений происходит из сформировавшегося выброса на завершающем этапе его динамической индивидуальности, то для расчетов загрязнений окружающей среды при авариях важное значение приобретает знание полной информации о вторичном источнике. Эта информация является входной в задачах расчета рассеивания примесей и построении пространственных и наземных полей концентраций загрязнителей.

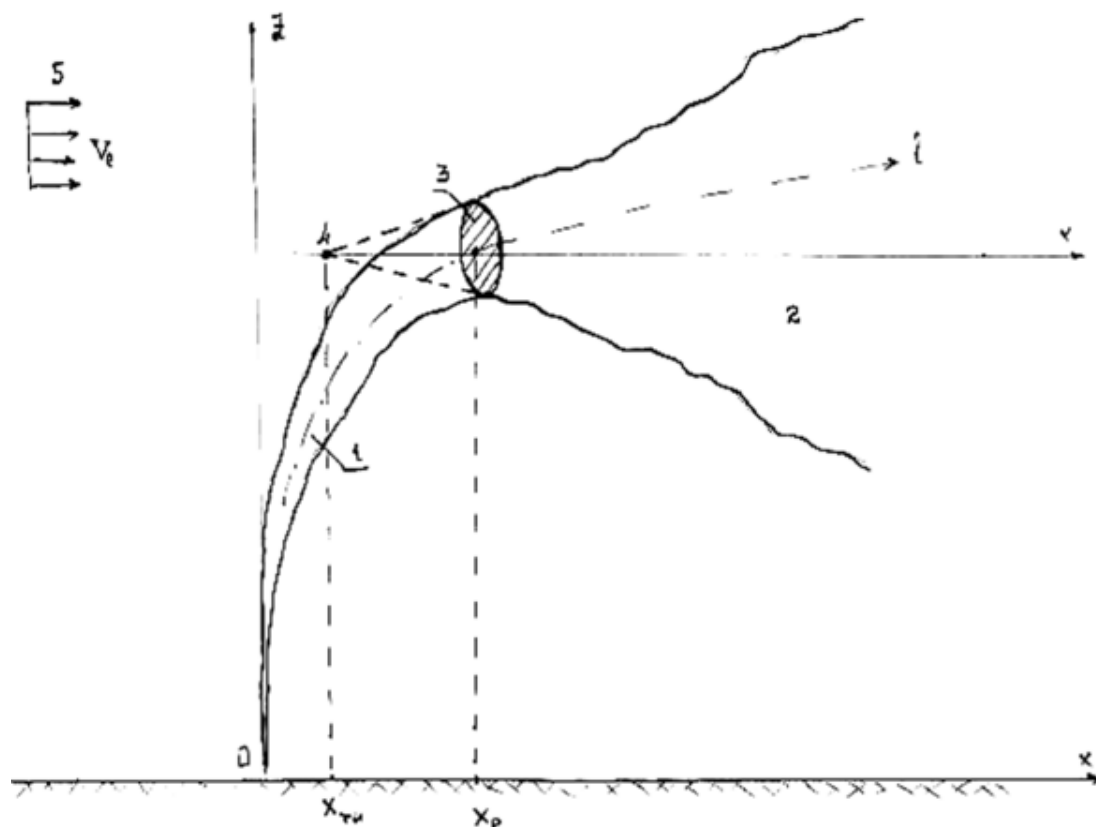


Рис.1.4. Схема движения восходящего потока при пожаре и формирование источников загрязнения окружающей среды при слаботурбулизированной атмосфере: 0 – место пожара; 1 – первичный объемный источник (струя); 2 – примесь, рассеиваемая под действием атмосферной диффузии; 3 – вторичный площадной источник (заштрихован); 4 – мнимый точечный источник; 5 – ветер.

Как отмечалось ранее, вторичные источники загрязнений возникают, когда динамические и (или) термодинамические характеристики формирующегося атмосферного выброса заметно отличаются от аналогичных характеристик окружающей среды. Такими характеристиками могут быть плотность вещества, его температура, агрегатное состояние, а также скорость движения выброса как целого или скорость отдельных его частей и фрагментов. На практике любой антропогенный выброс можно представить последовательно сменяющимися первичным и вторичным источниками. Некоторые типичные ситуации возникновения источников загрязнения природных сред при авариях разных типов иллюстрируются рисунками Рис.1.4. – Рис.1.8.

На Рис. 1.4. изображена схема формирования атмосферных источников при пожаре относительно небольшой площади, когда над местом возгорания формируется конвективная струя смеси продуктов горения и вовлекаемого воздуха. Под действием силы плавучести струя поднимается, искривляется ветровым потоком и после разрушения рассеивается под действием атмосферной диффузии.

Предполагается, что атмосфера слаботурбулизирована и загрязняющая примесь после потери струей динамической индивидуальности на фоне пульсационного движения атмосферных вихрей движется в виде неразрывного сплошного потока. Такие условия соответствуют устойчивому состоянию атмосферы, когда вертикальный градиент температуры воздуха близок к нулю или отрицателен. Физически это означает возрастание с высотой, и

всплывающий объем воздуха оказывается холоднее окружающей среды; его движение тормозится и затухает.

Устойчивые или инверсионные условия характеризуются слабым турбулентным обменом, и приземная концентрация загрязнений имеет низкие значения. В качестве первичного источника на рисунке выступает струя 1 до места ее деструкции, соответствующего X – координате в точке X_p . Далее происходит активное рассеивание потока из эффективного сечения 3. Это сечение струи и является вторичным источником загрязнения.

Если границы рассеивания продолжить навстречу потоку, то в случае изотропного рассеивания они сойдутся в точке 4, являющейся местом эффективного точечного источника рассеиваемого выброса.

Случай формирования атмосферных источников при пожаре в сильнонеустойчивой атмосфере рассмотрен на Рис. 1.5. Здесь, как и в предыдущей ситуации, первичным источником является собственно струя 1 до места ее разрушения 2. Однако из-за колебательного характера движения струйного потока (меандрирования) на завершающем этапе его развития вторичными источниками загрязнений будут квазиклубы 3, периодически возникающие в области 2. Квазиклубы – это фрагменты распавшегося на отдельные порции вещества струи. Они имеют крупномасштабное вихревое движение типа «дорожки Кармана», возникающей в потоке за препятствием. Эффективный точечный источник 4 может быть построен, как и в предыдущем случае, сведением огибающих клубов в некоторый единый центр.

Отметим, что подобная картина формирования атмосферных источников характерна для состояний атмосферы с вертикальным градиентом температуры воздуха больше адиабатического. Нагретые порции воздуха получают импульс силы плавучести, а им на смену опускаются холодные порции воздуха. В результате такого движения воздушных масс происходит интенсивное вертикальное перемешивание примеси в возрастающем по Z слое.

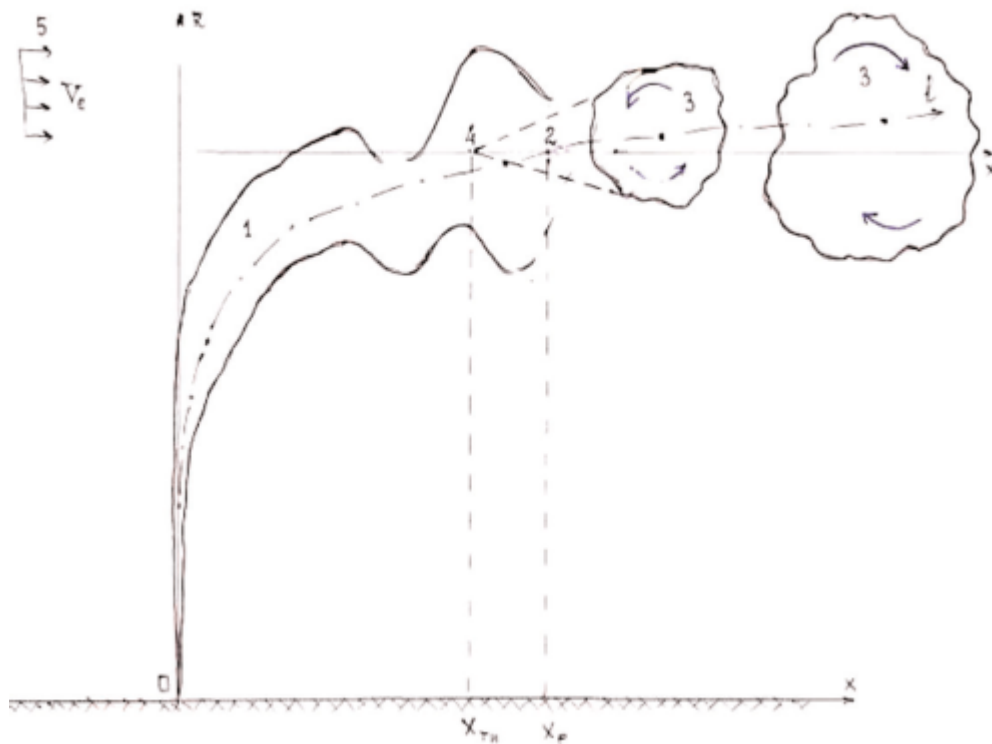


Рис.1.5. Схема движения восходящего потока при пожаре, и формирование источников загрязнения окружающей среды при сильно турбулизированной атмосфере: 0 – место пожара; 1 – первичный объемный источник (меандрирующая струя); 2 – место разрушения струйного потока; 3 – вторичные объемные источники; 4 – мнимый точечный источник; 5 – ветер.

Если температурный градиент атмосферного воздуха близок или равен адиабатическому (понижение температуры примерно на 1С на каждые 100 м высоты), то реализуется так называемые безразличные (или нейтральные) условия. При вертикальном градиенте температуры равном (или ниже) адиабатического поднимающийся газообразный объем обладает той же температурой, что и окружающие массы воздуха. В такой ситуации отсутствует импульс сил всплытия, и атмосфера не оказывает на выброс никакого влияния в Z – направлении.

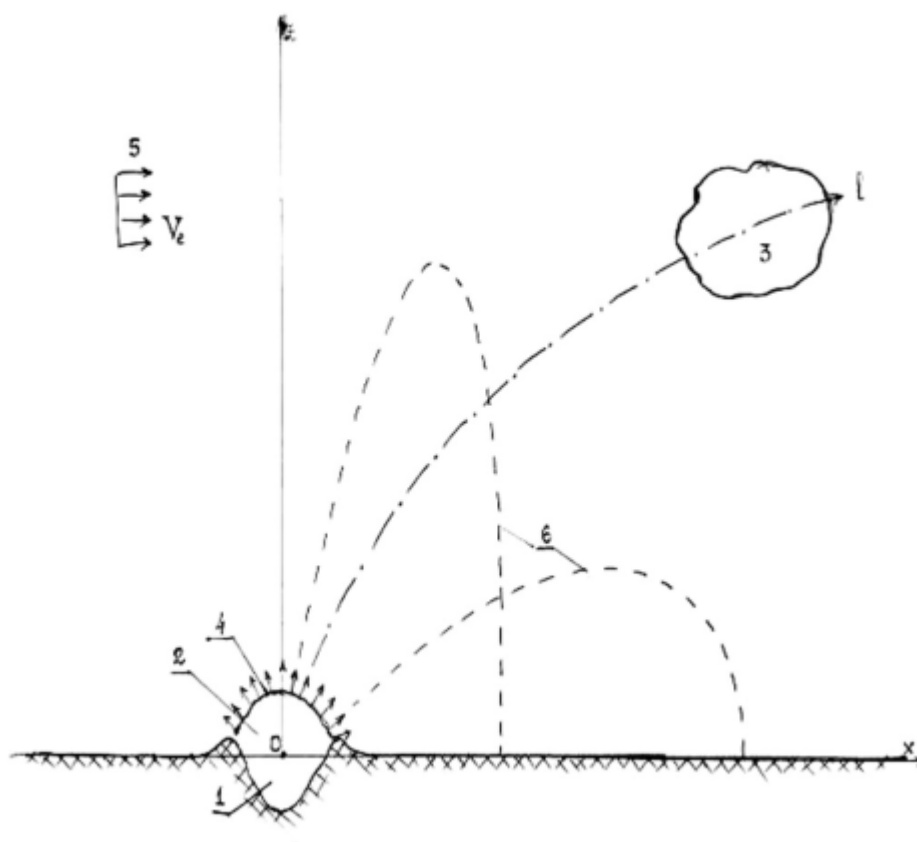


Рис.1.6. Схема движения выбросов при взрыве, и формирование источников загрязнения окружающей среды: 0 – место взрыва; 1 – воронка; 2 – объемный первичный источник; 3 – вторичный объемный источник (взрывное облако); 4 – вторичный поверхностный источник загрязнений твердой и жидкой фазами взрыва; 5 – ветер; 6 – траектории частиц.

Схема движения выбросов при взрыве и формирование источников загрязнения воздуха и земли приведены на Рис.1.6. Как следует из рисунка, над местом взрыва 0 возникает объемный источник 2, состоящий из взрывных газов и раздробленных частиц и фрагментов вещества подстилающей поверхности (грунта), вовлеченного в выброс из воронки 1; воздух в объеме 2 отсутствует. За времена $\sim 10^{-2}\text{с} \div 10^x\text{с}$ давление газов в выбросе 2 снижается до атмосферного, а его полусферическая поверхность занимает в пространстве некоторое

положение 4, являющееся вторичным поверхностным источником загрязнения окружающей среды твердой и жидкой фазами взрыва.

Газообразные продукты взрыва под действием взрывного импульса и сил плавучести покидают объем 2 и всплывают в атмосфере. Так возникает газообразный вторичный источник – взрывное облако 4. Оно сносится ветровым потоком и поднимается на некоторую высоту, где теряет свою динамическую индивидуальность на фоне турбулентной среды. Затем под действием атмосферной диффузии вещество облака рассеивается в окружающей среде.

В первичном источнике 2 (взрывном клубе) твердая и жидкая фазы взрыва ускоряются радиально расширяющимися газами и после выхода за ее пределы летят под действием силы инерции и силы тяжести по баллистическим траекториям. Полет частиц и фрагментов разрушенного при взрыве объекта заканчивается выпадением на поверхность земли в некотором ареале. Траектории частиц, вылетающих из взрывного очага под разными углами, обозначены на рисунке штриховыми линиями 6.

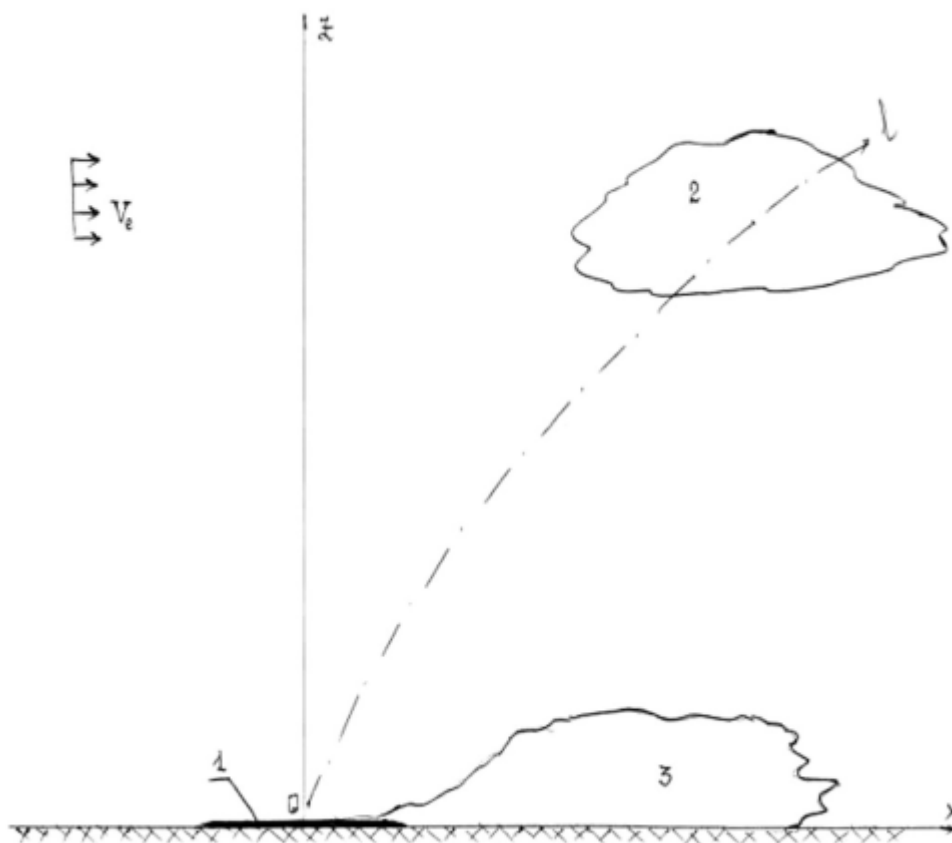


Рис. 1.7. Схема движения токсичных выбросов от пролива и формирование источников загрязнения: 0 – место пролива; 1 – первичный площадной источник; 2 – вторичный объемный источник (при испарении легкого газа); 3 – вторичный объемный источник (при испарении тяжелого газа); 4 – ветер.

Таким образом, в случае взрывной аварии в общем случае возникают практически одновременно два вторичных выброса. Для твердой и жидкой фаз взрыва вторичным источником является полусферическая поверхность 4, а для газообразной фазы – объемный клуб 3.

Рассмотрим теперь, как формируются источники загрязнений природных сред от проливов токсических веществ. Как следует из Рис.1.7., сам пролив представляет собой первичный площадной источник 1, из которого в зависимости от плотности испаренного газа формируется либо приземный объемный вторичный источник 3 (при испарении тяжелого газа), либо высотный (приподнятый) объемный вторичный источник 2 (при испарении легкого газа). Газ считается тяжелым, если его плотность выше, чем у воздуха и легким – если ниже.

Другим практически важным случаем возникновения вторичных токсических источников является взрыв емкости с токсикантом, приподнятой над подстилающей поверхностью на некоторую высоту. Этот случай соответствует взрыву некоторых типов химических боеприпасов.

Как следует из рисунка Рис.1.8. в общем случае в месте взрыва емкости с токсичной жидкостью возникает объемный первичный парожидкокапельный источник 1, содержащий токсичный продукт в паровой, газовой и жидкой фазах. Взрывной клуб 1 расширяется взрывными газами пока его давление не сравняется с атмосферным. Затем из объема 1 будет вылетать жидкокапельная фракция, а испаренный продукт покинет место взрыва и в виде облака тяжелых газов начнет снижаться. Таким образом, возникает объемный вторичный источник токсиканта 2.

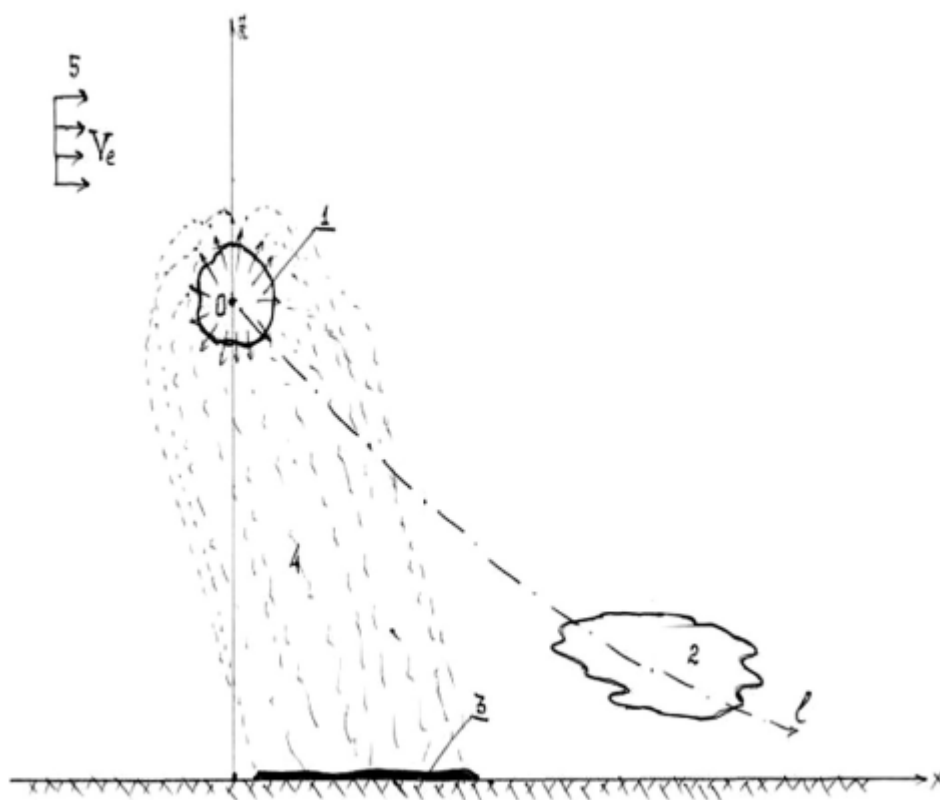


Рис. 1.8. Схема движения выбросов и формирование источников загрязнений при воздушном взрыве емкости с токсичной жидкостью: 0 – место взрыва; 1 – первичный объемный парожидкокапельный источник; 2 – вторичный объемный источник (облако тяжелых газов); 3 – вторичный площадной источник (осевший пролив); 4 – вторичный объемный жидкокапельный источник; 5 – ветер.

Еще два токсичных вторичных источника могут возникнуть в общем случае от жидкокапельной фракции взрыва: объемный жидкокапельный 4 и площадной 3 от жидкости, осевшей на подстилающей поверхности.

Следует отметить, что рассмотренные выше примеры возникновения источников загрязняющих и токсичных веществ в атмосфере не исчерпывают всего многообразия возможных на практике ситуаций. В каждом конкретном аварийном случае следует рассмотреть физически обоснованный ход инцидента, проанализировать наиболее вероятное его развитие и на этой основе определять возникающие источники загрязнений окружающей среды.

1.7. Зависимость аварий от условий окружающей среды

В настоящее время в научной литературе имеется огромное количество методик, алгоритмов и формул, позволяющих, по утверждениям их авторов, прогнозировать аварийные ситуации, инциденты и катастрофы антропогенного и естественного происхождения. Подробные методические материалы, инженерные разработки и математические модели исходят обычно из рассмотрения некоторых стандартных сценариев возникновения и развития опасного явления, которые пренебрегают вкладом внешней среды в протекание инцидента.

Обычно задаются некоторыми «средними» значениями окружающей среды: температурой воздуха и скоростью ветра, очень редко – высотным градиентом температуры, еще реже – турбулентностью атмосферы. Безусловно, такой подход позволяет оценить общую физическую картину явления, но может привести к большим погрешностям расчетов, а иногда и к ошибкам в самом прогнозе при некоторых экстремальных или неординарных природных явлениях.

Для устранения возникающих ошибок к аварийному прогнозу следует добавить прогноз метеорологический. Следует иметь в виду, что метеорологическое прогнозирование не способно, в принципе, предусмотреть все детали будущего состояния атмосферы. Следует исходить из диалектической детерминации происходящих явлений, сущность которой в факте, что необходимость проявляется через случайность. Отсюда следует, что к явлениям будущих аварийных ситуаций необходим вероятный подход с учетом возможной многовариантности развития процессов.

Отметим, что метеорологические прогнозы относятся к категории поисковых прогнозов [146], основывающихся на условном продолжении в будущее тенденции развития изучаемого процесса в прошлом и в настоящем. Задачей таких прогнозов является ответ на вопрос, что произойдет вероятнее всего при условии сохранения существующих тенденций.

При прогнозировании аварийных ситуаций целесообразно воспользоваться принятой в прогностике [147] классификации аварий. По промежутку времени, на который разрабатывается прогноз, все прогнозы подразделяют на оперативные (текущие), краткосрочные, среднесрочные, долгосрочные и сверхсрочные (Табл. № 1.1.).

В основе комплексного прогнозирования аварий с учетом возможных воздействий окружающей среды должны быть следующие взаимодополняющие источники информации о будущем поведении объекта исследований (пожара, взрыва, токсического выброса):

- оценка будущего состояния прогнозируемого объекта на основе опыта (чаще всего при помощи аналогии с достаточно хорошо известными сходными процессами и явлениями);
- экстраполяция на будущее тенденций, закономерности развития которых в прошлом и настоящем достаточно хорошо известны;
- модель будущего состояния объекта исследования, построенная в соответствии с ожидаемыми изменениями ряда условий, закономерности, развития которых в прошлом и настоящем достаточно хорошо известны.

В соответствии с этими тремя источниками информации о возможном аварийном объекте существуют три дополняющие друг друга способа разработки прогнозов: экспертный, экстраполяционный и модельный.

Экспертное оценивание используется при обсуждении прогнозов несколькими экспертами – квалифицированными специалистами в рассматриваемой области.

Таблица № 1.1.

Классификация прогнозов по промежутку времени до инцидента

Название прогноза	Период упреждения
Оперативный (сверхкраткосрочный)	От десятков минут до нескольких часов
Краткосрочный	от 0,5 суток до 2-х суток
Среднесрочный	3-10 суток
Долгосрочный	месяц, сезон
Сверхдолгосрочный	несколько лет

Способ экстраполирования предоставляет собой процесс построения динамических рядов эволюции прогнозируемого объекта по данным в прошлом и настоящем путем распространения обнаруженных закономерностей на будущее.

Метод математического моделирования представляет собой процесс построения моделей происходящих физических процессов с использованием математических уравнений. Этот процесс должен проводиться с учетом вероятного изменения прогнозируемых объектов на период упреждения прогноза по имеющимся данным о масштабах и направлении изменений. Должны учитываться изменения самих аварийных объектов и метеорологической обстановки на этот временный интервал.

Наиболее эффективной прогнозной моделью аварийной ситуации, очевидно, будет система уравнений, учитывающая физические процессы на аварийном объекте и в окружающей среде. В метеорологическом прогнозировании – это система уравнений гидротермодинамики атмосферы.

Большое практическое значение имеют статистические и физические модели. На практике эти способы взаимно дополняют друг друга.

Рассмотрим атмосферные явления, способные при некоторых обстоятельствах оказать заметное влияние на возникновение и (или) развитие аварий разного характера, а также на возможность их ликвидации. Такими явлениями являются:

- выпадающие осадки из воды, снега и льда;
- взвеси в воздухе твердых и жидких частиц;
- поверхностные отложения воды и льда;
- движение воздушных масс под действием ветра;
- грозовые электрические разряды.

Ветровое движение воздушных масс

Ветер является важной характеристикой при возникновении и развитии аварийных ситуаций, особенно это относится к ветровым потокам типа шквалов. Изменения скорости и направления ветра в течение прогностического периода определяются в основном периодическими изменениями полей давления, температуры и вертикальных движений, облачности, которые связаны с фронтальными разделами.

Отмечается [146], что по ожидаемому в момент прогноза значению скорости и направления ветра на уровне флюгера можно приближенно рассчитать скорость и направление ветра на различных уровнях пограничного и приземного слоев, где в основном происходят аварии.

Под шквалом понимается [146] резкое усиление ветра у поверхности земли в течение короткого времени, сопровождающееся изменениями его направлений. Скорость ветра при шквале может превышать 30 м/с.

Шквалы связаны с мощными кучево-дождевыми облаками; время их существования как перемещающихся мезомасштабных объектов составляет несколько часов. При движении подобных объектов на местности возникает узкая шквальная полоса шириной от нескольких сотен метров до нескольких километров и протяженностью до сотни километров.

Шквалы обычно сопровождаются ливнями и грозами, часто с выпадением града. Давление атмосферного воздуха перед приходом швала сильно падает, затем при шквале оно резко возрастает в течение десятков минут, а после прекращения ливневого дождя вновь падает. Температура воздуха, резко понижающаяся при шквале, после его прохождения немного повышается, но остается более низкой по сравнению с ее значением до швала. Падение температуры и рост давления при шквале связаны с выпадением ливневого дождя и охлаждением воздуха в его зоне.

Шквалы над сушей чаще всего развиваются во второй половине дня, когда конвективные облачные структуры становятся наиболее мощными.

Физическими условиями, благоприятными для возникновения швалов, являются:

- неустойчивая стратификация воздушных масс;
- высокая доля водяного пара в теплом приземном воздухе (до 10% и более);
- высокая температура теплого воздуха перед холодным фронтом.

Если ожидаемая синоптическая ситуация и термодинамические условия в воздушных массах благоприятны для возникновения швалов, то возможность их появления указывается в формулировке прогноза с заблаговременностью до 24-36 ч.

Шквалы могут оказать заметное влияние на развитие пожаров, перенося огонь с одного объекта на другой. Большая скорость ветра способствует также усилению очага горения. Токсичные выбросы при швалах также могут быть транспортированы воздушными потоками на большие расстояния за короткие временные отрезки. При некоторых ситуациях шквальные потоки могут повлиять на возникновение пожарной ситуации и взрывов на производствах.

Другим проявлением движения воздушных масс являются смерчи или торнадо. Эти атмосферные образования представляют собой огромные вихри, возникающие, как правило, в грозовых облаках. Они имеют форму хобота или воронки и, достигая поверхности земли или водного объекта, способны разрушить и всосать в себя массивные предметы. Смерч с большой скоростью перемещается вместе с порождающим его облаком, разрушая попутно строения и здания и приводя к взрывам и пожарам в быту и на производствах. Скорости воздушных потоков внутри смерча могут достигать сотен метров в секунду.

Ветровые потоки при более слабом ветре (от 7 м/с и до 12 м/с) приводят в приземном воздушном слое к переносу твердых частиц – снега зимой, пыли и песка в теплое время года.

Перенос снега ветром над поверхностью земли называют метелью. Она возникает при сочетании сравнительного сильного ветра с выпадением снега. Разновидностью метели является поземок – перенос сухого, ранее выпавшего снега в тонком слое, непосредственно прилегающем к поверхности земли (до 12 см). Благоприятным условием для выпадения метели является выпадение снега на ледяную корку, образовавшуюся до этого на снежном покрове.

Перенос больших количеств пыли или песка называют пыльной (песчаной) бурей. Это явление типично для степных и пустынных районов. Возникают пыльные бури при скоростях ветра >12 м/с, когда турбулизированный приповерхностный воздушный слой отрывает частицы почвы (пыль и песок) от поверхности земли и переносит их на большие расстояния.

При этом пыль может оставаться в воздухе несколько суток. Важное значение при прогнозе пыльных бурь имеет учет свойств подстилающей поверхности, т.е. степени закреплённости верхнего слоя почвы. Большую помощь в прогнозе пыльных бурь могут оказать спутниковые фотографии.

Метели, как и пыльные бури, могут оказывать заметное влияние на распространение в атмосфере токсичных веществ.

Атмосферное электричество

Атмосферные электрические разряды в виде молний наблюдаются при грозах, бурях, смерчах, а иногда и метелях. Молния представляет собой электрический разряд между облаками или между облаками и земной поверхностью. Их длина достигает несколько километров, диаметр – десятков сантиметров. Сила тока линейных молний -100 к А, продолжительность – 0,1 с.

Кроме линейных – наиболее распространенных молний – наблюдаются шаровые (объемные) и неточные (в виде ряда продолговатых объемов).

Вероятность поражения зданий и сооружений молнией зависит от интенсивности грозовой деятельности на данной местности, ее рельефа, размеров зданий и сооружений.

Интенсивность грозовой деятельности характеризуется общей годовой продолжительностью гроз в часах для каждого района страны. Общая годовая продолжительность гроз определяется по формуле:

$$N = 1,5 n \text{ (час/год)},$$

где n число грозовых дней в году при средней продолжительности грозы, принимаемой равной 1,5 часа.

По данным многолетних наблюдений метеорологических станций для каждого района составлены карты грозовой деятельности. Наиболее часты и интенсивны грозы в южных районах страны, в северных районах грозы происходят редко.

Наиболее часто электрические разряды при грозах возникают при синоптической ситуации благоприятной для образования кучево-дождевой облачности. В умеренных широтах грозы возникают, как правило, когда такое облако своей вершиной достигает уровня с температурой – 23 С и ниже, а толщина облака превышает 4 км.

Влияние, оказываемое грозовыми электрическими разрядами на возникновение и развитие аварий может быть весьма значительным (см. Таблицу № 1.3).

Выпадающие осадки

Термин «осадки» используется в гидрометеорологии при ожидаемой температуре воздуха в пределах от 3 до – 3°С. Фазовое состояние осадков дается в терминах «дождь», «снег» и уточняющие понятия: «снег с дождем», «дождь со снегом», «снег, переходящий в дождь» и т.д.

Продолжительность осадков обозначается следующими терминами:

- кратковременные осадки при их продолжительности 3 ч. и менее;
- продолжительные осадки при их непрерывном выпадении 6 ч. и более;
- временами осадки, если они выпадают с перерывами 2 раза и более при продолжительности каждого выпадения 3 ч. и менее.

Характеристика возможных жидких и твердых осадков приводится в таблице 1.2.

Таблица № 1.2.

Название	Интенсивность осадка	Количество осадков, мм/12 ч.	
		жидкие и смешанные	твердые
Сухая погода	Без осадков	0	0
Морсящий дождь, слабый снег	Небольшие осадки	0-3	0-2
Ливневый дождь, снегопад	Умеренные осадки	4-14	3-6
Сильный ливень, сильный снегопад	Сильные осадки	15-49	7-19
Очень сильный дождь, очень сильный снегопад	Очень сильные осадки	≥ 50	≥ 20

Ливневые осадки выпадают из кучево-дождевой облачности, возникающей при благоприятных для этого синоптических ситуациях в данном районе. Знание таких синоптических положений является одним из основных условий успешности прогноза ливневых осадков, гроз и града.

Прогноз обложных и морсящих осадков разрабатывается синоптическими, физико-статистическими и гидродинамическими (численными) методами [146]. Современные расчетные методы расчета возможных осадков основаны на параметризации внутриоблачных процессов, приводящих к образованию осадков.

Аэровзвеси

Взвешенные в воздухе твердые и жидкие частицы в больших объемах создают негативно воздействующие на живые организмы атмосферные образования, называемые туманами, пылью, дымом, смогом. Физические и динамические характеристики подобных образований имеют близкую природу, и поэтому для целей выяснения их влияния на аварийные ситуации допустимо ограничиться рассмотрением наиболее общего и типичного случая – туманов.

Туманом называется помутнение приземного слоя воздуха из-за наличия в нем взвешенных капель и воды, ледяных кристаллов или их смеси [146], при котором горизонтальная дальность видимости становится менее 1 км хотя бы в одном направлении. Аналогичное явление при горизонтальной видимости 1 км и более называют дымкой.

По агрегатному состоянию воды все туманы можно разделить на капельные, ледяные и смешанные. В смешанных туманах переохлажденные капли зафиксированы при температурах воздуха до -40°C .

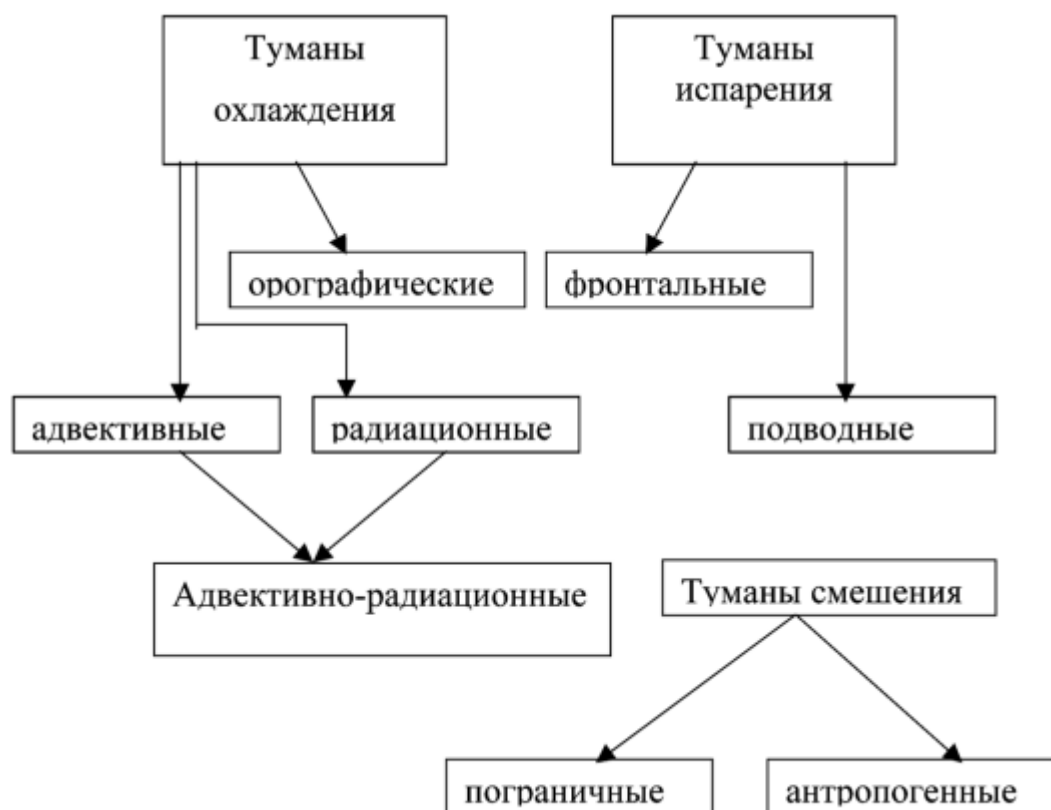


Рис.1.9. Классификация туманов по [146].

Все многообразие туманов по процессу возникновения разделяют на туманы охлаждения и туманы испарения (Рис.1.9). Туманы охлаждения возникают за счет приближения влажности воздуха к состоянию насыщения при понижении температуры воздуха, туманы испарения возникают только тогда, когда температура испаряющейся жидкости выше температуры приземного слоя воздуха.

Туманы охлаждения, возникающие при понижении температуры подстилающей поверхности за счет ее радиационного охлаждения, называют радиационными, при перемещении влажного воздуха над холодной подстилающей поверхностью – адвективными.

Туманы испарения, в свою очередь, могут быть надводными при возникновении над водой или фронтальными – при испарении капель дождя, выпадающего из теплой надфронтальной воздушной массы, в холодном подфронтальном воздухе.

Туманами смешения называют аэрозвеси при смешении воздушных масс с разной температурой и влажностью. Если они возникают вблизи границы морских побережий или границ теплых и холодных морских течений, то их называют пограничными.

Кроме того, туманы могут возникнуть в результате хозяйственной деятельности человека в процессе конденсации водяного пара, поступающего в атмосферу. Их также называют антропогенными.

Орографические туманы образуются при подъеме адиабатически охлаждающегося воздуха по наветренным склонам возвышенности. При этом уровень конденсации должен быть ниже температуры на вершине возвышенности и над ней должна находиться инверсия температуры, препятствующая переносу продуктов конденсации от поверхности склона.

Отметим, что туман любого типа может появиться, если в прогностический период ожидается температура воздуха T , равная или более низкая, чем температура туманообразования T_T , т.е. в условиях, когда $T < T_T$.

Таким образом, для прогноза возникновения тумана необходим прогноз как температуры воздуха, так и температуры туманообразования. Методы прогнозирования туманов широко представлены в современной гидрометеорологической литературе.

Смог (англ. smog, от smoke – дым и fog – туман), определяемый как сильное загрязнение воздуха в больших городах и промышленных центрах также может быть отнесен к аэрозвесям. Он является разновидностью тумана. Классифицируют смоги следующие типы:

- влажный смог лондонского типа — сочетание тумана с примесью дыма и газовых отходов производства;

- ледяной смог аляскинского типа – смог, образующийся при низких температурах из пара отопительных систем и бытовых газовых выбросов;

- сухой смог лосанджелесского типа – смог, возникающий в результате фотохимических реакций, которые происходят в газовых выбросах под действием солнечной радиации; наблюдается устойчивая синеватая дымка из едких газов без тумана;

- фотохимический смог – разновидность смога, основной причиной возникновения которого считаются автомобильные выхлопы и загрязняющие выбросы предприятий в условиях инверсии температуры. Выхлопные газы в такой аэрозвеси вступают в химические реакции, которые под действием солнечного излучения, образуют озон. Фотохимический смог вызывает поражение дыхательных путей, рвоту, раздражение слизистой оболочки глаз и общую вялость. В ряде случаев в фотохимическом смоге могут присутствовать соединения азота, которые повышают вероятность возникновения раковых заболеваний.

Смог наблюдается обычно при слабой турбулентности при инверсиях температуры, при слабом ветре или штиле. Инверсии температуры в атмосфере – это повышение температуры воздуха с высотой вместо обычного для тропосферы ее убывания.

Температурные инверсии являются задерживающими слоями в атмосфере; они препятствуют развитию вертикальных движений воздуха, вследствие чего под ними накапливаются газообразные токсиканты, водяной пар и пыль. Пылевые и аэрозольные частицы являются ядрами конденсации. Поэтому при смоге всегда возникают слоистая дымка, туман и облака. Видимость уменьшается до нескольких десятков метров, предметы теряют цветовую окраску. Из-за рефракции света в слоях с температурной инверсией иногда возникают миражи.

Оседающие осадки

Замерзание продуктов конденсации водяного пара на наземных предметах и на поверхности земли приводит к образованию гололеда, изморози, гололедицы, наста обледенелого мокрого снега, твердого налета.

Несмотря на то, что эти природные явления не способны в заметной степени повлиять на возникновение и развитие аварий, их учет может дать полезную дополнительную информацию об инциденте в целом.

Оседающие осадки уменьшают проходимость транспорта и доступность места аварии. В частности, гололедица может оказать негативное влияние на ликвидацию аварийной ситуации с применением современной техники.

Рассмотрим кратко указанные выше атмосферные явления. Гололед представляет собой слой льда, нарастающего на поверхности земли или на предметах (преимущественно с наветренной стороны) при замерзании капель переохлажденного дождя, тумана или мороси. Он образуется при отрицательных температурах воздуха. Гололед возникает при метеоро-

логических условиях, связанных, как правило, с выпадением переохлажденного дождя и с взаимодействием потоков теплого и холодного воздуха (фронтальные гололеды).

Основными благоприятными условиями для его возникновения являются наличие переохлажденного адвективного тумана, мощные инверсионные слои в пограничном атмосферном слое при умеренных и сильных ветрах.

Изморозью называют отложение льда на проводах, ветвях деревьев и других предметах при тумане. Этот процесс возникает в результате сублимации водяного пара (кристаллическая изморозь) или намерзания капелек переохлажденного тумана (зернистая изморозь).

Кристаллическая изморозь (в просторечии – иней) состоит из кристаллов льда, нарастающих преимущественно с наветренной стороны предмета при температуре воздуха ниже -15°C . Она легко осыпается при встряхивании.

Зернистая изморозь также возникает преимущественно с намеренной стороны предметов, но при сильном ветре. Она представляет собой снеговидный рыхлый снег, по внешнему виду напоминает гололед и близка к нему по плотности.

Зернистая изморозь возникает при замерзании на предметах капель переохлажденного тумана при температурах от -3 до -8°C . Синоптические условия образования изморози такие же, как и при возникновении гололеда.

Вид наземного обледенения – гололед или изморозь – зависит от преобладающего размера капель тумана: если они меньше 20 мкм, то образуется зернистая изморозь, если больше, то образуется гололед.

Гололедица – это лед на поверхности земли, возникший по разным причинам [146]:

- вследствие замерзания мокрого снега или дождя и мороси при соприкосновении с переохлажденной поверхностью земли;
- из-за замерзания переохлажденного дождя или мороси на поверхности земли (по существу это гололед на земной поверхности);
- вследствие замерзания слоя воды на поверхности земли после оттепели или выпадения дождя в результате наступления похолодания.

Образование гололедицы зависит не только от атмосферных условий, но и от температуры подстилающей поверхности. Отрицательные температуры поверхности земли обеспечивают замерзание на ней выпадающих жидких или полужидких осадков.

Наст представляет собой гололедицу, возникшую на поверхности снежного покрова. В результате многократного образования наста снежный покров приобретает слоистую структуру с чередованием плотных и рыхлых слоев.

Обледеленный мокрый снег – ледяная масса, возникающая при быстром замерзании мокрого снега при температуре воздуха до $+2^{\circ}\text{C}$ и скорости ветра до 6 м/с. По внешнему виду напоминает очень плотную зернистую изморозь, но размерами может превосходить гололед.

Еще одним видом оседающих осадков является твердый налет – тонкий слой ледяных кристаллов, образующихся вследствие сублимации водяного пара на холодных, преимущественно каменных, поверхностях. Возникает преимущественно с наветренной стороны при ослаблении мороза, при оттепели, обычно в пасмурную погоду. Твердый налет белого цвета, его толщина не превышает нескольких миллиметров.

Отметим, что все виды наземного обледенения, за исключением твердого налета и кристаллической изморози, могут создавать опасные весовые нагрузки на различные сооружения и затруднять работу транспорта. Это может негативно сказаться на успешности ликвидации аварий.

Безусловно, невозможно предвидеть, какие метеорологические и синоптические условия будут ко времени наступления конкретной аварийной ситуации. Однако при составлении прогнозных экспресс-оценок развития уже начавшейся аварии информация о возмож-

ном влиянии на нее атмосферных явлений может быть весьма полезной и является ценным вспомогательным элементом в оценке полной картины развития инцидента.

Кроме того, подобные исследования способны оценить «коридор» возможных отклонений хода аварий от стандартного сценария, использующего некоторые «средние», как правило, ничем не обоснованные начальные и граничные условия.

Отметим, что при некоторых авариях атмосферные явления приобретают главенствующее значение в процессах возникновения и развития происшествия. Это относится к пожарам (особенно лесным), возникновение и протекание которых существенно зависит от атмосферных осадков, ветровых потоков, а также грозových электрических разрядов.

На токсичные выбросы определяющее влияние может быть оказано осадками в виде дождя, снега и льда, туманами разной природы и метелью.

Возникновение и развитие взрывных аварий практически не чувствительно к атмосферным явлениям, за исключением возможного инициирования взрыва грозovým электричеством.

Влияние атмосферных явлений по классификации работы [146] на возможность возникновения и развития аварий разной природы представлено в Таблице № 1.3.

В таблице 1.4 представлены данные о негативном влиянии атмосферных явлений на возможность ликвидации аварийной ситуации противоаварийными подразделениями.

Как следует из таблицы, атмосферные явления могут оказывать заметные воздействия на возможность ликвидации аварий. Такими явлениями являются, в первую очередь, помутнения воздуха при туманах и поверхностные отложения льда (гололедица), а также сильные ветровые потоки типа шквалов, бурь и смерчей. Остальные проявления атмосферных явлений очевидно мало влияют на работу ликвидаторов аварий.

Таблица № 1.3.

Влияние атмосферных явлений на возможность возникновения и развития аварийной ситуации

№ п/п	Атмосферное явление	Эффект воздействия на:					
		возникновение аварии			развитие аварии		
		Пожар	Взрыв	Токсовыброс	Пожар	Взрыв	Токсовыброс
1.	Выпадающие осадки из воды, снега и льда	Н-Опр	О	О	Н-Опр	О	Н-Опр
2.	Поверхностные отложения воды и льда (роса, иней, гололедица, оседающий туман)	Н	О	Н	Н	О	Н
3.	Бури и смерчи (буря, шквал, вихрь, смерч)	Н-Опр	Н	Н	З	Н-Опр	З
4.	Грозвые электрические разряды	Н-Опр	Н-Опр	Н-Опр	Н	О-Н	О
5.	Помутнение воздуха:						
	а).водяная взвесь (туманы);	Н	О	О	Н	О	Опр
	б). ледяная взвесь (метель, ледяной туман);	Н	О	О	Н	О	Опр
	в).минеральная взвесь (пыль, дым, пылевой поземок);	Н	О	О	Н	О	Н
	г).смог	О	О	О	О-Н	О-Н	О-Н

Обозначения эффектов воздействия:

О – отсутствует (нулевой);

О-Н – от нулевого до незначительного;

Н – незначительный (слабый);

З – значительный (средний);

Н-Опр – от незначительного до определяющего;

Опр – определяющий (сильный).

Таблица № 1.4.

Влияние атмосферных явлений на возможность ликвидации аварийных ситуаций

№ п/п	Атмосферное явление	Эффект воздействия
1.	Выпадающие осадки из воды, снега и льда	О-Н
2.	Поверхностные отложения воды и льда	Н-Опр
3.	Бури и смерчи	Опр
4.	Грозовые электрические разряды	О
5.	Помутнения воздуха: а). водяная взвесь; б). ледяная взвесь; в). минеральная взвесь; г). смог	Н-Опр Н Н Н

Представленный в таблице 1.3 и таблице 1.4 подход имеет феноменологический описательный характер, однако при использовании статистического материала и баз данных по авариям очевидно можно перейти к количественному вероятному представлению описанных выше зависимостей.

В заключении этого раздела отметим, что атмосферные явления не исчерпывают внешних условий, которые можно рассматривать в качестве аварийного фона. Такие фоновыми условиями могут быть различные физические воздействия: тепловые, радиация, вибрации, инсоляции и наличие источников химически активных реагентов.

Указанные факторы, как правило, не учитываются при прогнозах аварий из-за их кажущейся незначительности, что иногда может привести к большим ошибкам.

В качестве примера рассмотрим температурный фактор. Известно, что регулярно в одном из наиболее жарких месяцев (как правило в мае) на складах боеприпасов происходят самопроизвольные загорания и взрывы. Жертвой таких инцидентов являются люди, в огне пожаров гибнут снаряды сотнями вагонов.

Взрываются почему-то боеприпасы с вышедшими сроками хранения. Официально такие инциденты объясняются халатностью военнослужащих при курении, а в средствах массовой информации, кроме того, желанием военных во что бы то ни стало избавиться от бесполезного и опасного груза (самоподрывы). Никто почему-то не связывает эти аварии с нарушением правил хранения снарядов.

Объяснением, не связанным с «человеческим фактором», является температурный запуск в топливе химических реакций, приводящих к их загоранию или взрыву. Ракетное топливо в просроченных снарядах давно потеряло свои первоначальные физико-химические свойства из-за процессов эрозии, растрескивания и т.п. Таким образом, сравнительно небольшое повышение температуры внешней среды может инициировать наступление аварии нетермостатированных боеприпасов.

В работе [102] сделана попытка связать аварийную ситуацию при пожаре с погодными условиями – в частности с температурой воздуха. На основе анализа антропогенных и погодных условий на пожарную обстановку в Красноярском крае сделан вывод о том, что частота пожаров (количество загораний в сутки) и их распределение по причинам возникновения в разные периоды времени определяются преимущественно двумя факторами. Первый из них – уровень урбанизации региона, который выражается через численность населения.

Второй фактор – температура окружающего воздуха. Представленные в этой работе эмпирические уравнения для относительного количества пожаров в сутки, по утверждению авторов, могут использоваться для прогноза обстановки с пожарами в регионах. Причем достоверный прогноз ошибки прогноза пожара составляет не более 10 %.

Аналогичным эффектом «спускового крючка» обладают, очевидно, и некоторые другие физические воздействия. Весь вопрос в их интенсивности, времени и продолжительности действия.

Глава II.

Описание аварий, оценка их физических характеристик, факторы опасности

В последние годы участились случаи крупных аварий на объектах химической промышленности, ядерной энергетики и хранилищах токсичных и взрывчатых веществ. Это может быть объяснено отчасти большей открытостью информации некогда запретных тем, возросшей халатностью персонала и не соблюдением сроков регламентных работ и замены выработавшей ресурс техники. Наиболее пристальное внимание общественности в последние годы стали привлекать масштабные аварии боеприпасов, сопровождающиеся взрывами, пожарами и разлетом артиллерийских снарядов и ракет с места инцидента.

Имеются небезосновательные подозрения, что кроме безответственности и технической безграмотности военнотружущих подобные происшествия порой являются фактически несанкционированными ликвидациями устаревшей и не кондиционной техники и вооружений, хранящихся на военных складах и базах.

Повышенная опасность подобных происшествий возникает из-за того, что аварийные объекты, как правило, расположены либо внутри, либо на окраинах населенных пунктов. В случае комплексной аварии, включающей в себя взрывы и пожары, жертвы среди населения могут быть достаточно внушительными. Приведем примеры некоторых наиболее типичных подобных аварий, ставших достоянием гласности из-за невозможности их утаить — слишком много шума и свидетелей было при инцидентах.

При пожаре цеха оснащения турбореактивных снарядов пороховыми зарядами арсенала боеприпасов рядом с Владивостоком практически все жители семисоттысячного города были вынуждены первого, а затем во второй раз второго мая 1992 года эвакуироваться за его пределы. Пожар в цехе возник по не установленной причине (по одной из версий от окурка, брошенного матросом), неожиданно стали взрываться болванки с порохом. Раскаленные осколки и ударные волны инициировали пожары в двадцати других закрытых хранилищах боеприпасов. Всего же на территории этого арсенала Тихоокеанского флота кроме закрытых хранилищ имелось более сорока площадок с различными снарядами, пиротехническими компонентами и порохами. Авиационные бомбы, реактивные и обычные снаряды, гранаты и патроны хранились в количествах, исчисляемых сотнями вагонов. Хорошо, что из-за штилевых условий пожар ограничился примерно половиной боезапасов арсенала. Пострадало в этот раз удивительно малое количество людей: офицер и двое матросов были ранены, еще двоих оглушило...

Повторно под Владивостоком по не выясненным до сих пор причинам возник пожар на базе артиллерийского вооружения и боеприпасов Тихоокеанского флота 14 мая 1992 года и несмотря на все усилия военных пожарных не был погашен.

К утру 15 мая выгорело девять из тридцати одного хранилища и семь из двадцати площадок открытого хранения.

14 мая 1994 года в третий раз за последние два года возник пожар небывалого масштаба на военных складах Дальнего Востока — объединенных складах вооружений и боеприпасов тыла ВВС Тихоокеанского флота. Склады площадью шестьдесят гектаров находятся в пятидесяти километрах от Владивостока в окрестностях поселка Смоляниново Шкотского района Приморского края. Пожар, как обычно, начался не известно от чего. Охрана склада разбежалась, а огонь охватил лежавшие в канонирах боеприпасы. Осколки от взрывающихся снарядов разлетались в радиусе десяти километров, мощными сейсмическими и воздушными взрывными волнами были выбиты стекла и повреждены ветхие строения в близлежа-

щих поселках Романовка и Новонежино. Удачное расположение склада во впадине между тремя сопками позволило избежать больших потерь при этой аварии, однако все шестьсот тридцать жителей окрестных населенных пунктов, а затем и две с половиной тысячи жителей более отдаленных городов Партизанск и Большой Камень были эвакуированы. Пожар, начавшийся утром, не прекратился до самой ночи. Спонтанно возникали очаги повторного возгорания и взрывы боеприпасов мелкого калибра. Лишь утром следующего дня героическими усилиями пожарных пожар был ликвидирован.

Воздушная разведка показала, что более половины территории складов подверглось полному разрушению, из восьмисот вагонов боеприпасов полностью уничтожено более двухсот, в том числе около тысячи шестисот тонн фугасных бомб, противопехотных мин, ракет различного класса, снарядов. Саперам, стянутым со всего Дальнего Востока, предстояла опасная и продолжительная работа по обследованию и ликвидации неразорвавшихся боеприпасов. По одной из версий причиной столь крупного инцидента послужило возгорание травы на территории склада.

Более суток громыл разрывами арсенал Тихоокеанского флота, расположенный на окраине Владивостока 15 и 16 октября 2002 года. На арсенале планово уничтожали отжившее свое боеприпасы, и по чьей-то нерадивости или злему умыслу там возник пожар, а затем взрывной разлет изделий. В штабе Тихоокеанского флота и региональном управлении МЧС выдвинуты две версии развития событий. Одна – от брошенной спички или незатушенного окурка и вторая – от попадания в эшелон с боеприпасами раскаленного осколка подорванного боеприпаса. Всего, по данным [174], сгорело 12 из 17 вагонов с боеприпасами, подлежащими утилизации, – около трех тысяч снарядов.

Этот пожар был пятым за предыдущие десять лет (с 1992 г.) на складах боеприпасов Тихоокеанского флота. Позже склады горели в 1996 и 1997 годах. Всего же за эти годы было 18 пожаров на армейских и флотских арсеналах, в пламени которых погибли 29 военнослужащих.

Конечно взрываются и горят склады не только на Дальнем Востоке. Эта беда одинаково характерна для любого региона, на котором хранятся боеприпасы.

1992 году на арсенале «Вторая речка» неизвестно откуда взявшимся огнем разметало тысячи снарядов, которые до сих пор находят в окрестностях.

Гигантский пожар, причины которого выясняются до сих пор, возник на складах седьмой армии Вооруженных сил СНГ вблизи села Балаовит под Ереваном. Почти двое суток бушевал огонь. Пожар был ликвидирован только после применения спецсамолета ИЛ-76, оснащенного емкостями с пламягасящей жидкостью. В результате пожара были ликвидированы два тепличных хозяйства и выбиты стекла в жилых домах, где проживало сто двадцать тысяч жителей Еревана. На время пожара их пришлось временно размещать в зданиях городских кинотеатров и дворцов культуры. Значительная часть неразорвавшихся снарядов, мин и гранат, а также других боеприпасов взрывными волнами были разбросаны на большие расстояния.

В начале июня 1998 года в поселке Лосином, в 50-и км от Екатеринбурга, произошла трагедия на складе инженерных войск, повлекшая за собой гибель 13 военнослужащих. По официальной версии Министерства обороны России при ударе молнии начался пожар лесного массива, а затем складского помещения, в котором хранились десятки тысяч тонн взрывоопасных изделий – в основном противотанковых и противопехотных мин. На воздух взлетело около 500 вагонов взрывчатых веществ. От такого количества прореагировавшей взрывчатки, в состав которой входят токсичные вещества, произошло химическое заражение почвы и воздуха соединениями азота, хлора, фосфора, серы, а также различными кислотами.

Тысячи тонн этих соединений, попавших в природные среды, вызвали болезненные симптомы у населения пострадавших поселков – тошноту, головную боль, слабость и т.п.

Следует отметить, что российские солдаты при тушении пожара в Лосином проявили подлинный героизм, а 13 человек пожертвовали жизнью ради спасения жителей пострадавших поселков.

По неполной информации с 1977 по 1995 год на складах боеприпасов России произошло более 40 крупных пожаров, в ходе которых уничтожено более 10 тысяч вагонов боеприпасов или около 200 тысяч тонн. Это огромная цифра, но не менее впечатляет цифра подлежащих в ближайшее время утилизации боеприпасов. Они содержат в тысячах тонн следующие взрывчатые вещества:

- 70 – плавких ВВ на основе тротила;
- 20 – плавких ВВ, содержащих гексоген (тротил-гексоген, тротил-гексоген-алюминий);
- 7 – неплавких ВВ – А – IX – I (флегмантизированный гексоген);
- и А – IX – 2 (смесь флегмантизированного гексогена с алюминием);
- 3 – прочих ВВ (жидких, пластичных, октогенсодержащих и др.)

Всего около 100 тысяч тонн. Происходят инциденты и на гражданских производствах, но не в таких ужасающих масштабах.

Другими источниками повышенной опасности являются арсеналы химического оружия и объекты ядерной энергетики. Несомненно на них происходят аварии, но их, как правило, стараются не предавать гласности. Мелкие аварии – проектные устраняются своими силами, о крупных страна узнает через некоторое время – иногда весьма отдаленное от времени происшествия. Например, об авариях в хранилищах химического оружия или о авариях на атомных станциях и производствах.

30 сентября 1996 года произошел пожар на одном из сооружений арсенала военнотехнического оружия в г. Камбарка Удмуртской Республики с выходом в атмосферу не зафиксированного количества отравляющего вещества (от полутонны до нескольких тонн). Пожар удалось ликвидировать силами хранилища, и население оповещено не было.

Можно не сомневаться, что список чрезвычайных происшествий, подобных описанным выше, будет неумолимо расти...

Анализ наиболее крупных аварий, происшедших на взрыво- и пожароопасных объектах, позволяет сделать выводы об основных воздействиях, угрожающих здоровью и жизни персонала и населения. Начинается такая авария обычно мелким возгоранием или взрывом, инициирующим вторичные один или несколько мощных взрывов большого количества взрывчатого вещества с последующим пожаром. Комплексная авария включает в себя взрыв и пожар. В общем случае после взрыва возникает поднимающийся в атмосфере объем нагретого газа, содержащий наряду с газообразными продуктами взрыва вовлекаемый воздух, жидкие и твердые частицы и куски грунта а также элементов конструкции аварийного объекта. Кроме того ударные волны, вызванные взрывами, при распространении в почве приводят к механическим разрушительным воздействиям на строения: разбиваются стекла в окнах, перекашиваются косяки дверей, разрушаются некапитальные постройки.

Воздушные ударные волны также приводят к сотрясению отдельных элементов конструкции объектов, дроблению стекол, сносу кровли у близко стоящих строений. Осколки, куски грунта и фрагменты разрушающихся объектов под действием ускоряющего импульса ударной волны вылетают из очага взрыва и разлетаются на большие расстояния. Они могут привести к тяжелым травмам персонала аварийного объекта и населения близлежащих домов.

Немаловажным опасным фактором при подобной аварии может быть разнос ветровым потоком и воздушной ударной волной горящего материала (кусков древесины, пластмассы, твердого топлива и т.п.). Попадая на деревянные строения, эти вещества могут вызвать вторичные пожары.

Необходимо отметить, что при взрыве и горении большинства современных изделий химических производств и складов, возникают высокотоксичные газообразные и аэрозольные вещества. Поднимаясь в виде облаков под действием силы плавучести, они представляют собой опасность химического загрязнения близлежащей территории. Загрязнение может реализоваться как в виде диффундирующей в ветровом потоке газовой примеси, так и в виде жидкокапельных выпадений. Ветровой поток приводит иногда к переносу загрязняющих выпадений на многие десятки километров от места аварии.

В случае аварии на радиационноопасном объекте к перечисленным выше опасностям следует добавить факторы радиационного облучения и световой вспышки. О поражающих воздействиях этих факторов много писалось в печати, поэтому они здесь не обсуждаются.

Приведенный выше сценарий комплексной аварии взрыво- и пожароопасного объекта в общем отражает реально наблюдаемые картины. Реализуемые на практике аварии, включая в себя основные описанные выше элементы, отличаются лишь деталями, соответствующими их специфике.

Ниже будут рассмотрены физические характеристики и опасные проявления аварий в виде взрыва, пожара и токсичного выброса.

2.1. Взрывы

Одними из типов катастроф на промышленных объектах являются взрывы. Под взрывом понимают мгновенное расширение газовой смеси, в результате которого происходит скачок давления или ударная волна. Основное отличие между пожарами и взрывами состоит в скорости выброса энергии. Во время пожара энергия освобождается медленно, в то время как при взрыве происходит одномоментный выброс энергии, обычно в течении микросекунд. В результате взрывов создаются опасные условия для жизни человека и окружающей природной среды. Взрывы часто приводят к частичному или полному разрушению объекта, ранениям или гибели людей.

Различают два типа взрывов: физические взрывы и химические. При физическом взрыве высвобождающаяся энергия является внутренней энергией сжатого или сжиженного газа. Сила таких взрывов зависит от внутреннего давления, а разрушения могут быть вызваны ударной волной от расширяющегося газа или осколками разорвавшегося резервуара. Масса образующихся паров и скорость парообразования при этом определяется по материальным и тепловым балансам двух возможных аварийных ситуаций: 1) тепловыделение с парообразованием происходит при постоянном объеме; 2) за тепловыделением при сохранении объема следует расширение с сохранением теплового равновесия.

К физическим взрывам относят также явления физической детонации, при которых возникает смешение горячей и холодной жидкостей, когда температура одной из них значительно превышает температуру кипения другой (например, вливание расплавленного металла в воду). Физическая детонация сопровождается возникновением ударной волны с избыточным давлением в жидкой фазе, достигающем в некоторых случаях тысяч атмосфер [103].

При химических взрывах энергосодержание обусловлено экзотермической реакцией между горючим и окислителем.

К опасным факторам взрыва (ОФВ), характеризующим его разрушительность, относят [104]:

- давление во фронте ударной волны;
- избыточное давление взрыва;
- среднюю и максимальную скорость нарастания давления при взрыве;
- дробящие или фугасные свойства взрывоопасной среды.
- Основными параметрами, характеризующими поведение процесса взрыва, являются:
- температура окружающей среды;
- давление в окружающей среде;
- состав взрывчатого вещества;
- физические свойства взрывчатого вещества;
- природа источника воспламенения: тип, энергия и длительность;
- геометрия окружающей среды: ограниченная или неограниченная;
- количество горючих материалов;
- время перед воспламенением;
- скорость выброса горючего вещества.

Поведение взрыва очень трудно охарактеризовать. Было принято много подходов к решению этой проблемы, включая теоретические, полуэмпирические и эмпирические исследования. Несмотря на эти попытки, поведение процесса понято еще не полностью. Поэтому в настоящее время используется подход, основанный на использовании экстраполяции результатов и обеспечивающий подходящий «запас безопасности».

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.