

5/57
Б44

Беляев Н. Н.
Берлов А. В.
Машихина П. Б.

депозитне
зберігання

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ АВАРИЙНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ





Берлов А. В.

Машихина П. Б.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ
ПРОЦЕССОВ АВАРИЙНОГО
ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ**



Днепропетровск
Акцент ПП
2014

УДК 51-7: 502.3

ББК 22.1: 26.23

Б43

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф. *В. Д. Петренко* (ДИИТ)

д-р техн. наук, проф. *С. З. Полищук* (ПГАСА)

д-р техн. наук, проф. *Л. С. Савин* (ПГАСА)

Рекомендовано к печати Ученым советом

Днепропетровского национального университета железнодорожного
транспорта имени академика В. Лазаряна

Н. Н. Беляев, А. В. Берлов, П. Б. Машихина

Б43 Моделирование нестационарных процессов аварийного загрязнения атмосферы:

Монография / Н. Н. Беляев, А. В. Берлов, П. Б. Машихина. Д.: Акцент ПП, 2014. -
127 с.

ISBN 978-617-7109-63-0

В монографии рассмотрены вопросы прогнозирования уровня загрязнения атмосферного воздуха при чрезвычайной ситуации на химически опасном объекте. Основное внимание уделено вопросам аварийного загрязнения атмосферы при диверсии в хранилище твердого ракетного топлива. Рассмотрена методология оценки уровня загрязнения атмосферы, методика прогноза токсичного поражения людей в помещениях при затекании в них загрязненного атмосферного воздуха и проблема формирования кислотного дождя. Представлены результаты решения комплекса прикладных задач в области мониторинга чрезвычайных ситуаций, экологической и промышленной безопасности.

Для студентов, аспирантов, научных работников, специализирующихся в области экологической безопасности, мониторинга и охраны окружающей среды, безопасности жизнедеятельности, вычислительной гидродинамики.

Іл. 65. Табл. 14. Бібліогр.: 147 найм.

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА БІБЛІОТЕКА
ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
імені академіка В.Лазаряна

УДК 51-7: 502.3

ББК 22.1: 26.23

© Беляев Н. Н., Берлов А. В.
Машихина П. Б., 2014
© Акцент ПП, 2014.

ISBN 978-617-7109-63-0

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ.....	6
1.1. Описание объекта.....	6
1.2. Твердое ракетное топливо.....	10
1.3. Современные методы прогноза аварийного загрязнения атмосферы.....	14
ГЛАВА 2. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ПРИ ГОРЕНИИ ТВЕРДОГО РАКЕТНОГО ТОПЛИВА.....	25
2.1. Модель прогрева корпуса ракетного двигателя первой ступени РС-22.....	25
2.2. Модель переноса опасных веществ в атмосферном воздухе.....	32
2.3. Модель инфильтрации загрязненного атмосферного воздуха в здание.....	38
2.4. Моделирование аэродинамики ветрового потока вблизи хранилища с твердым ракетным топливом.....	39
ГЛАВА 3. ЧИСЛЕННОЕ ИНТЕГРИРОВАНИЕ МОДЕЛИРУЮЩИХ УРАВНЕНИЙ.....	41
3.1. Численное решение трехмерного уравнения рассеивания опасного вещества в атмосфере.....	41
3.2. Численное решение двумерного уравнения рассеивания опасного вещества в атмосфере.....	44
3.3. Численное решение аэродинамической задачи.....	47
3.4. Описание пакетов программ.....	52
ГЛАВА 4. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ В ХРАНИЛИЩЕ ТВЕРДОГО РАКЕТНОГО ТОПЛИВА.....	61
4.1. Расчет прогрева корпуса ракетного двигателя.....	61
4.2. Прогнозирование загрязнения атмосферного воздуха при горении твердого ракетного топлива в масштабе «Microscale».....	70
4.3. Моделирование загрязнения атмосферного воздуха в масштабе «Local».....	86
4.4. Моделирование загрязнения атмосферного воздуха в масштабе «Urban».....	88
4.4.1. Оценка социального риска.....	92
4.5. Моделирование загрязнения атмосферного воздуха в масштабе «Urban» при быстром выбросе продуктов горения твердого ракетного топлива.....	96
4.6. Моделирование осаждения кислотного дождя, образовавшегося при выбросах продуктов горения ТРТ.....	104
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	110
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	111

ВВЕДЕНИЕ

Одним из потенциальных источников опасного химического загрязнения атмосферы в Днепропетровской области является Павлоградский химический завод (ПХЗ), где, в частности, хранится твердое ракетное топливо (ТРТ) межконтинентальной баллистической ракеты (МБР) РС-22. Твердое ракетное топливо, в корпусах двигателей 1-й, 2-й и 3-й ступеней ракеты РС-22, находится внутри хранилищ. Вблизи этих хранилищ находятся производственные здания завода и достаточно близко размещена селитебная зона г. Павлоград. При возгорании ракетного топлива произойдет интенсивная эмиссия химически опасных веществ в атмосферу и возникнет риск токсичного поражения людей, как на территории объекта, так и в селитебной зоне. Поэтому, одной из важных задач в области экологической безопасности является прогноз уровня загрязнения атмосферного воздуха при чрезвычайной ситуации в данных хранилищах. Такой прогноз необходим с целью разработки эффективных ускоренных методов ликвидации ТРТ при его утилизации, а в случае аварии – защиты населения и окружающей среды от химического загрязнения и минимизации последствий аварии. Решение данной задачи составляет основу разработки ПЛАСа (план ликвидации аварийной ситуации).

В данной монографии представлены результаты комплекса исследований, связанных с прогнозированием уровня загрязнения атмосферного воздуха и оценки социального риска в случае чрезвычайной ситуации (диверсии) в хранилище твердого ракетного топлива. В рамках этих исследований изучена уязвимость снаряженного корпуса твердотопливного ракетного двигателя РС-22 к внешнему инициированному тепловому воздействию, разработаны численные модели для прогноза аварийного загрязнения атмосферного воздуха в масштабе «microscale», «local», и «urban», рассмотрена методика расчета оседания кислотного дождя на земную поверхность после возникновения чрезвычайной ситуации в хранилище.

Авторы выражают глубокую благодарность кандидату технических наук, ведущему научному сотруднику Сердюку Анатолию Ивановичу (Павлоградский химический завод, КБЮ имени академика М. Янгеля) за ценные замечания и рекомендации при обсуждении материалов данной книги.

ГЛАВА 1

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ

1.1. Описание объекта

Государственное предприятие «Научно-производственное объединение «Павлоградский химический завод» (ПХЗ) основано в 1929 году как предприятие по выпуску взрывчатых материалов и снаряжению боеприпасов различного назначения (артиллерийских, авиационных, морских, инженерных и др.).

С 60-х годов на предприятии созданы производства по изготовлению смесевых твердых ракетных топлив и изготовлению снаряжения корпусов и ракетных двигателей массой от 1 кг до 50000 кг.

На сегодняшний день ГП «НПО «ПХЗ» – ведущее предприятие в Украине по производству взрывчатых веществ, смесевых твердых ракетных топлив и изделий из них.

После получения независимости Украиной и подписанием договора о безъядерном статусе Украины на территории Павлоградского химического завода произведено складирование зарядов твердого ракетного топлива МБР РС-22 («Скальпель»). Данная ракета была разработана в Советском Союзе для поражения дальних целей (свыше 10000 км). Особенностью ракеты РС-22 являлось то, что ее транспортировка и запуск осуществлялись с железнодорожной платформы (рис. 1.1).

Первая ступень включает маршевый ракетный двигатель твердого топлива (РДТТ) снабженный одним неподвижным частично утолненным соплом, а также хвостовой и соединительные отсеки цилиндрической формы. Вторая ступень состоит из маршевого РДТТ и соединительного отсека. Третья ступень включает в себя маршевый РДТТ, по своей конструкции аналогичному двигателю на второй ступени, и переходной отсек.

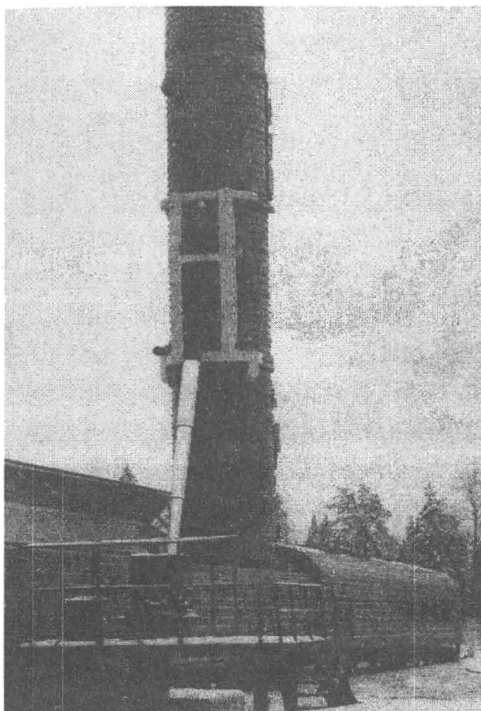


Рисунок 1.1 – Ракета РС-22 в транспортно-пусковом контейнере

Межконтинентальная баллистическая ракета (МБР) РС-22 на западе получила обозначение SS-24 «Scalpel» Mod 2 (PL-4). МБР РС-22 принята на вооружение в 1989 году. На протяжении 2003–2007 годов все ракеты, как стационарного, так и подвижного базирования, были сняты с вооружения и переданы на утилизацию.

В настоящее время на территории Павлоградского химического завода (рис.1.2) хранится порядка 5000 тонн данного ракетного топлива [98]. Масса одного снаряженного корпуса первой ступени РС-22 составляет 47 тонн, масса снаряженного корпуса второй и третьей ступени – меньше. Топливо хранится в специальных хранилищах (рис. 1.3). Время горения снаряженного корпуса первой ступени (самой крупной) составляет порядка 10-15 минут (без сопла, с открытыми люками).



Рисунок 1.2 – Территория Павлоградского химического завода:

- 1 – хранилища твердого ракетного топлива;**
- 2 – здания на территории Павлоградского химического завода**

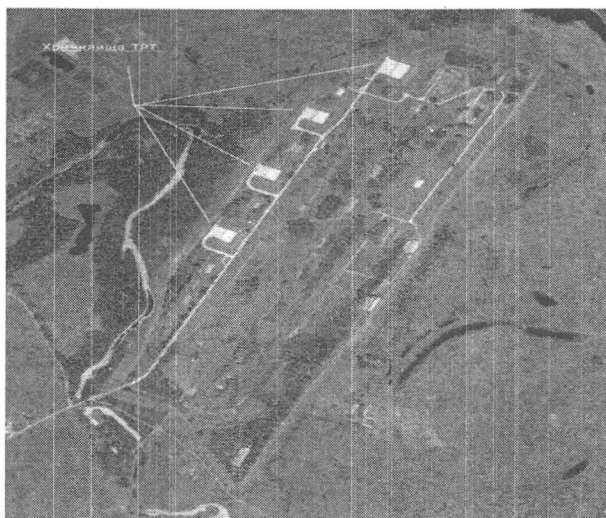


Рисунок 1.3 – Хранилища ТРТ на территории Павлоградского химического завода

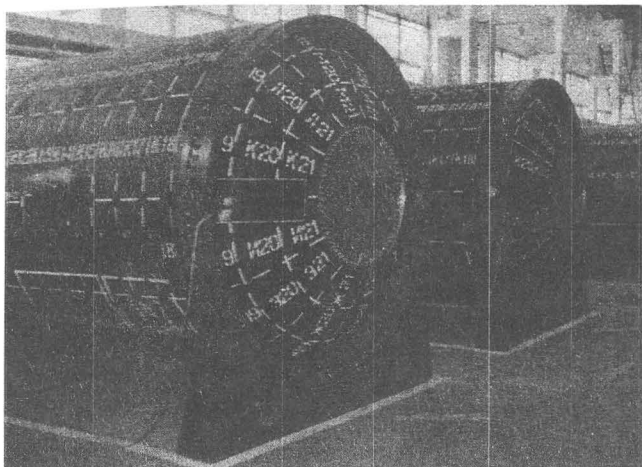


Рисунок 1.4 – Снаряженный корпус твердотопливного ракетного двигателя первой ступени РС-22

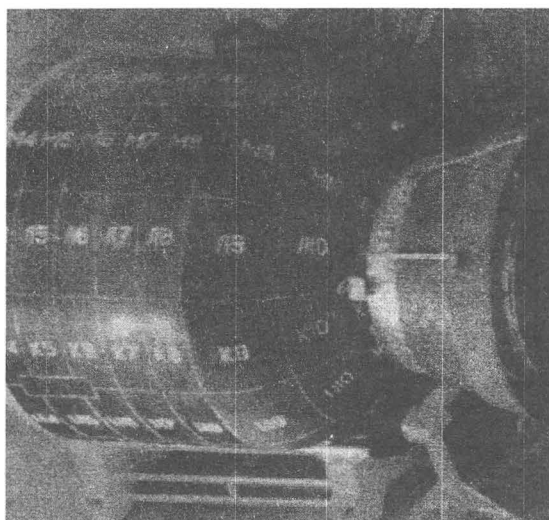


Рисунок 1.5 – Снаряженный корпус двигателя III ступени РС-22 с соплом

Как видно из рисунка 1.2, хранилище с твердым ракетным топливом располагается вблизи селитебной зоны (производственные и административные здания на территории Павлоградского химического завода и г. Павлоград). Таким образом, в случае чрезвычайной ситуации в данных хранилищах, приводящих к возгоранию твердого ракетного топлива, начнется мощная эмиссия опасных веществ в атмосферу. Это создаст угрозу токсичного поражения людей, как на территории промышленного объекта, так и в городе. В этой связи основой для разработки ПЛАСа (план ликвидации аварийной ситуации) является адекватный прогноз загрязнения атмосферного воздуха при чрезвычайной ситуации в хранилище твердого ракетного топлива.

1.2. Твердое ракетное топливо

Известно, что энергетические характеристики твердого ракетного топлива определяются термодинамическими свойствами компонентов и продуктов сгорания, они могут быть улучшены либо оптимизацией соотношения между горючими и окислителями, компонентами, либо использованием более эффективных основных компонентов – окислителей, горючих и связующих [81]. Аналогично решается и проблема повышения плотности топлив, т.е. увеличения запаса энергии в заданном объеме заряда РДТТ.

Твердое топливо подразделяется на баллиститные прессованные – нитроглицериновые пороха, представляющее собой гомогенную смесь компонентов (в современных мощных ракетных двигателях (РД) не применяется), и смесевое представляющее собой гетерогенные смеси окислителя, горюче-связующего (способствующего образованию монолитного топливного блока) и различных добавок (пластификатора, порошки металлов и их гидридов, отвердителя и т.д.). Твердотопливные заряды изготавливаются в виде канальных шашек, горящих по внешней либо внутренней поверхности. Основные специфические требования,

предъявляемые к твёрдым топливам: равномерность распределения компонентов и, следовательно, постоянство физико-химических и энергетических свойств в блоке, устойчивость и закономерность горения в камере РД, а также комплекс физико-механических свойств, обеспечивающих работоспособность двигателя в условиях перегрузок, переменной температуры, вибраций. По удельному импульсу (около 250 с при давлении в камере сгорания $\sim 40 \text{ кгс/см}^2$) твёрдое топливо уступает жидкому, т.к. из-за химической несовместимости не всегда удаётся использовать в составе твёрдого топлива энергетически эффективные компоненты. Недостатком твердого топлива является подверженность «старению» (необратимому изменению свойств вследствие происходящих в полимерах химических и физических процессов) [81].

Первыми нашли широкое применение в РДТТ смесевые топлива на основе перхлората калия и полисульфида. Значительное увеличение удельного импульса РДТТ произошло после того, как вместо перхлората калия стал применяться перхлорат аммония, а вместо полисульфидных – полиуретановые, а затем полибутадиеновые и другие каучуки, и в состав топлива было введено дополнительное горючее – порошкообразный алюминий.

Почти все современные РДТТ содержат заряды, изготовленные из перхлората аммония, алюминия и полимеров бутадиена. Готовый заряд имеет вид твердой резины или пластика. Его подвергают тщательному контролю на сплошность и однородность массы, прочное скрепление топлива с корпусом и т.д. Трещины и поры в заряде, как и отслоения от корпуса, недопустимы, так как могут привести к нерасчетному увеличению тяги РДТТ (вследствие увеличения горячей поверхности), прогарам корпуса и т.п. Характерный состав смесевых топлив, используемых в современных мощных РДТТ: окислителя (как правило перхлорат аммония NH_4ClO_4) 60-70%, горюче-связующего (бутилкаучук, нитрильные каучуки, полибутадиены) 10-15%, пластификатора 5-10%, металла (порошки Al, Be,

Mg и их гидриды) 10-20%, отвердителя 0,5-2,0% и катализатора горения 0,1-1,0% (окись железа, пятиокись ванадия, ферроцен и др.).

В современных космических РДТТ сравнительно редко применяется и модифицированное двухосновное, или смесевое двухосновное топливо. По составу оно является промежуточным между обычным баллистным двухосновным (двухосновные пороха – бездымные пороха, в которых два основных компонента: нитроцеллюлоза – чаще всего в виде пироксилина, и нелетучий растворитель – чаще всего нитроглицерин) топливом и смесевым.

Двухосновное смесевое топливо содержит обычно кристаллический перхлорат аммония (окислитель) и порошкообразный алюминий (горючее), связанные при помощи нитроцеллюлозно-нитроглицериновой смеси. Вот типичный состав модифицированного двухосновного топлива: перхлорат аммония – 20,4%, алюминий – 21,1%, нитроцеллюлоза – 21,9%, нитроглицерин – 29,0%, триацетин (растворитель) – 5,1%, стабилизаторы – 2,5%. При той же плотности, что и смесевое полибутадиеновое топливо, модифицированное двухосновное характеризуется несколько большим удельным импульсом. Недостатками же его являются более высокая температура горения и большая стоимость. С целью увеличения удельного импульса, как в смесевые, так и в модифицированные двухосновные топлива могут вводиться мощные взрывчатые кристаллические окислители, например гексоген, октоген. Следует подчеркнуть, что в целом состав конкретного твердого топлива для боевых ракет – секретная информация.

В рассматриваемом случае, т.е. при горении твердого ракетного топлива в хранилищах Павлоградского химического завода в атмосферу будут поступать NO_x , HCl и другие вредные вещества. Перечень продуктов горения приведен в таблице 1.1. Однако следует отметить, что данные приведенные в таблице 1.1 даны с определенной степенью приближения [98], что связано со спецификой данной задачи – состав данного ракетного топлива являлся секретным.

Таблица 1.1 – Продукты сгорания твердого ракетного топлива РС-22 [92, 98]

Наименование вредного вещества	Удельный выброс вредных веществ при взрывании смесового твердого ракетного топлива вместе со снаряженным и корпусным двигателями (СКД), кг		
	1-я ступень	2-я ступень	3-я ступень
Al_2O_3	19975,7	11512,5	5622,8
HCl	6855,8	1351,3	678,5
CO	9121,7	5290,9	1849,8
NO_x в пересчете на NO_2	1808,0	3974,4	3532,8
Диоксины и циклические гетероароматические вещества	458,4	238,3	84,4
Сажистые полициклические вещества	781,6	453,4	158,6
Итого	39001,2	22820,8	11926,9

Поступление таких вредных веществ в организм человека приведет к токсическому поражению и летальному исходу. Так, например, при высоких концентрациях HCl происходит раздражение слизистых, в особенности носа и легких; помутнение роговицы глаз и т.п. Появляется охриплость, чувство удушья, покалывание в груди, насморк, кашель, иногда кровь в мокроте. Концентрации 0,05-0,075 мг/л переносятся с трудом. Хроническое отравление вызывает катары дыхательных путей; разрушение зубов; изъязвления слизистой носа и даже прободение носовой перегородки; желудочно-кишечные расстройства; возможны воспалительные заболевания кожи. Со временем, появляются острые боли в области желудка, рвота желтоватой слизью. Из таблицы 1.1 видно, что другим опасным продуктом горения топлива являются диоксины, NO_x и CO . Диоксины токсичны для сердечнососудистой системы, желудочно-кишечного тракта, органов дыхания, иммунной и эндокринной систем и почек; мутаген; тератогенный; канцероген.

Таким образом, горение твердого ракетного топлива создает риск токсичного поражения людей. Следует отметить, что такая опасная ситуация создастся в хранилище при инициированном (диверсия) тепловом воздействии на снаряженный корпус твердого ракетного топлива. Если температура нагрева твердого топлива превысит определенное значение, то начнется процесс горения, который невозможно остановить средствами пожаротушения, поскольку процесс горения может происходить без доступа кислорода. Кроме этого, проблема прогноза уровня загрязнения атмосферы и риска токсичного поражения людей возникает при другой ситуации – это утилизация твердого ракетного топлива путем организованного сжигания или подрыва [98]. При таком способе утилизации в атмосферу будут поступать продукты горения (табл.1.1) и таким образом возникнет угроза опасного загрязнения атмосферы и поражения людей. Оценка масштаба экологической опасности в этом случае – крайне актуальная и ответственная задача.

1.3. Современные методы прогноза аварийного загрязнения атмосферы

Прогноз загрязнения атмосферы при аварийных выбросах загрязняющих веществ является особо важной задачей в области экологической безопасности [2-4, 6, 7, 29, 31, 35, 39, 37, 40, 46, 66, 70, 79, 82, 89, 97]. В случае выбросов в атмосферу опасных веществ при аварии (диверсии) на химически опасном объекте решение задачи разбивается в несколько этапов:

- 1) оценка уязвимости объекта;
- 2) моделирование рассеивания опасных веществ в атмосфере с целью определения поля концентрации, которое формируется после аварии (диверсии) на химически опасном объекте;
- 3) *mapping* – изображение зоны химического заражения на картах и *изменение этой зоны с течением времени* для визуализации последствий

аварии (диверсии) и выявления динамики формирования районов с высоким риском поражения людей;

4) прогноз влияния зоны загрязнения (*impact influence*) на людей, попавших в зону химического заражения (определение величины социального риска – оценка количества погибших на открытой местности, в помещениях и т.п.).

Разработка моделей для расчета рассеивания опасных веществ в атмосфере, с целью определения поля концентрации, обычно осуществляется с учетом масштаба переноса. В настоящее время выделяют следующие масштабы переноса:

1. *canopy* – масштаб переноса на уровне высоты травы, кустов и т.п.
2. *microscale* – масштаб переноса порядка нескольких десятков метров.
3. *local* – масштаб переноса от ста до нескольких сот метров.
4. *urban* – масштаб переноса порядка 1-2 километров.
5. *county* – масштаб переноса порядка 10 километров.
6. *regional* – масштаб переноса порядка нескольких сотен километров.
7. *continental* – масштаб переноса порядка нескольких тысяч километров.
8. *global* – масштаб переноса порядка 10000 километров и более.

При рассмотрении аварийных ситуаций на химически опасных объектах и транспорте, обычно рассматривают процесс переноса опасных веществ в масштабах *microscale*, *local*, *urban*. В случае аварии на крупных объектах (авария на Чернобыльской АЭС, Фукусима АЭС) прогноз также осуществляют в масштабах *county*, *regional* и *continental*. Следует подчеркнуть, что масштаб переноса примеси в атмосфере определяет особенности разрабатываемой прогнозной модели.

В Украине, в настоящее время для прогноза последствий аварий на химически опасных объектах широко используется нормативная методика [67]. Эта методика представляет собой эмпирические модели для расчета размеров зон химического заражения. Например, согласно нормативной

методике площадь прогнозированной зоны химического загрязнения рассчитывается по формуле:

$$S_{\text{прог.}} = K \cdot \Gamma^2 \cdot N^{0.2} \text{ км}^2,$$

где K – коэффициент, который зависит от степени вертикальной стойкости воздуха;

N – время, на которое рассчитывается глубина площади прогнозированной зоны химического загрязнения;

Γ – глубина зоны химического загрязнения.

Данная методика имеет такие серьезные недостатки:

- при проведении прогнозных расчетов нет учета влияния скорости и направления ветра на формирование зоны загрязнения;

- нет возможности получения пространственно-временного распределения концентрации опасного вещества в атмосфере, а значит – отсутствует научно-обоснованная база для оценки риска поражения людей в селитебной зоне;

- методика не учитывает влияние атмосферной диффузии на формирование зоны химического загрязнения;

- в расчетах по данной методике не учитывается влияние времени эмиссии химически опасного вещества на процесс формирования зоны загрязнения.

Здесь следует подчеркнуть, что особенностью рассматриваемой аварийной ситуации в хранилище твердого ракетного топлива является нестационарность эмиссии опасных веществ: выброс продуктов сгорания ракетного топлива осуществляется в течение нескольких минут, а потом происходит рассеивание в атмосфере сформировавшегося шлейфа. Нормативная методика не позволяет найти решение данной задачи с учетом этой важной особенности, поскольку основана на применении эмпирических моделей прогноза.

Достаточно близкой «по идеологии» к нормативной методике является методика РД 52.04.253-90, которая также основана на применении

эмпирических моделей, позволяющих рассчитать глубину зоны химического заражения и т.п. Например, согласно этой методике величина предельно возможного значения глубины переноса воздушных масс рассчитывается по формуле:

$$\Gamma_n = N \cdot v,$$

где N – время от начала аварии, ч;

v – скорость переноса переднего фронта зараженного воздуха при данной скорости ветра и степени вертикальной устойчивости воздуха, км/ч.

Но данная методика не позволяет рассчитать динамику изменения концентрации опасного вещества на различном расстоянии от источника эмиссии и, по сути, имеет перечисленные выше недостатки.

В ряде случаев для расчета зон химического заражения используется другая эмпирическая модель – модель ОНД-86 [68, 89, 92]. Пример расчета с помощью этой модели показан на рисунке 1.6.

Данная методика имеет следующее стандартное название – «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86». Существует ряд программ, которые реализуют данную методику (например, программа «ЭОЛ 2000» и т.д.). Эта методика предназначена для оценки влияния вредных выбросов проектируемых и действующих (реконструируемых) предприятий на загрязнение приземного слоя атмосферы. Методика ОНД-86 была создана на основе обработки большого количества эмпирической информации относительно уровня загрязнения атмосферы вблизи крупных промышленных объектов в различных регионах СССР. Руководителем данных работ являлся д.ф.-м.н. Берлянд М.Е.

Основная расчетная зависимость данной методики, позволяющая рассчитать максимальную приземную концентрацию, имеет вид:

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}},$$

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА БІБЛІОТЕКА
ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
імені академіка В.Лазаряна

где A – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы и определяющий условия вертикального и горизонтального рассеивания вредных веществ в атмосферном воздухе;

M – количество вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени;

F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе;

m и n – безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выброса;

η – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности, в случае ровной или слабопересеченной местности с перепадом высот не превышающим 50 м на 1 км;

H – высота источника выброса над уровнем земли;

ΔT – разность между температурой выбрасываемой газовой смеси T_c и температурой окружающего атмосферного воздуха T_a ;

V_l – эффективный объем газовой смеси.

Как видно из приведенной зависимости методика ОНД-86 предназначена для расчетов рассеивания выбросов от промышленных труб.

Следует подчеркнуть, что в работе [92] данная методика и методика РД 52.04.253-90 были использованы для оценки уровня загрязнения атмосферы продуктами сгорания (HCl , диоксины и т.д.) ТРТ РС-22.

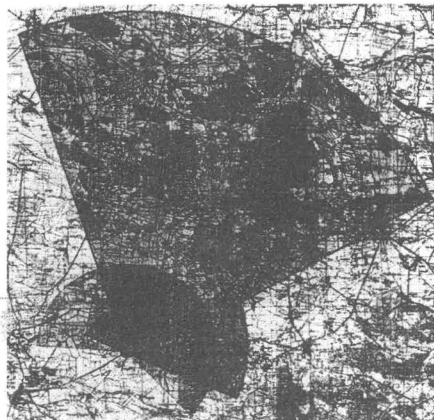


Рисунок 1.6 – Расчет зоны загрязнения при аварии с желтым фосфором, которая произошла на Львовской железной дороге (расчет с помощью методики ОНД-86) [89]

В заключение следует подчеркнуть, что для задач прогноза загрязнения атмосферного воздуха при авариях на химически опасных объектах, за рубежом, в настоящее время эмпирические модели не используются в виду их очевидной ограниченности по объему и качеству прогнозной информации.

Нередко, на практике, для расчета рассеивания опасных веществ в атмосфере используется модель Гаусса [31, 34, 37, 66, 97, 99, 110, 117, 118, 126]. Эта модель (и различные ее вариации – модель Сеттона и т.д.) представляет собой аналитическое решение уравнения переноса примеси с использованием эмпирической информации относительно влияния турбулентной диффузии на процесс рассеивания примеси. Данная модель составляет основу большого количества программных продуктов, например: «Аммиак», «AEROMOD», «CAMEO/ALOHA», «НРАС/SCIPUFF» и т.д. (рис.1.7).

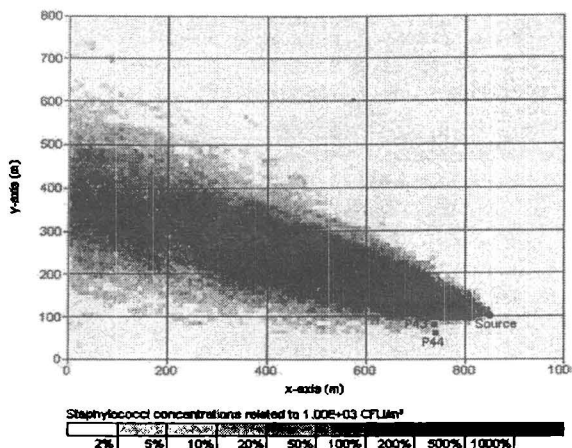


Рисунок 1.7 – Расчет зоны биологического загрязнения атмосферы на базе модели Гаусса (модель TALIP version 1.2) [139]

Модель Гаусса и ее аналоги – аналитические модели, полученные для условий точечного постоянного выброса, точечного мгновенного выброса [1, 6, 7, 28, 31, 73, 79, 84, 88, 93, 117, 141, 142] не учитывают профиль скорости ветра, возможность эмиссии опасного вещества в течение определенного промежутка времени и, поэтому – обладают определенной ограниченностью по своим возможностям. Кроме этого, эти модели дают не физически завышенное значение концентрации опасного вещества возле источника, поскольку основаны на предположении о «точечном выбросе». Следует также отметить, что в модели Гаусса применяются коэффициенты дисперсии, эмпирическое значение которых определено в США и Великобритании. Для регионов Украины такие коэффициенты – не определялись.

Другим классом моделей, которые используются для прогноза загрязнения атмосферы, являются лагранжевые модели [31, 113] (например: «ARCO», «MOE», «NAME», «NARAC/ADAPT-LODI», «QWIC» и т.д.). В этих моделях исследуется движение частиц примеси по траекториям, в атмосфере [31]. В Украине такие модели не получили своего

распространения. За рубежом, как правило, данные модели используются для расчета дальнего переноса загрязняющих веществ в атмосфере (модель «NAME» используется для расчета «ближнего» переноса примеси).

В настоящее время наиболее эффективным инструментом решения прогнозных задач, связанных с аварийным загрязнением атмосферы являются численные модели [39, 43, 44, 62, 74, 95, 103-108, 112, 124, 125, 127, 129, 131- 133, 137, 140]. В этом классе моделей выделяют две подгруппы: модели, в рамках которых осуществляется расчет поля скорости ветрового потока с учетом рельефа местности, зданий (CFD модели, или названные позже CWE модели, рис.1.8) [3, 4, 52, 65, 80, 95, 106, 107, 108, 129, 130, 133, 137].

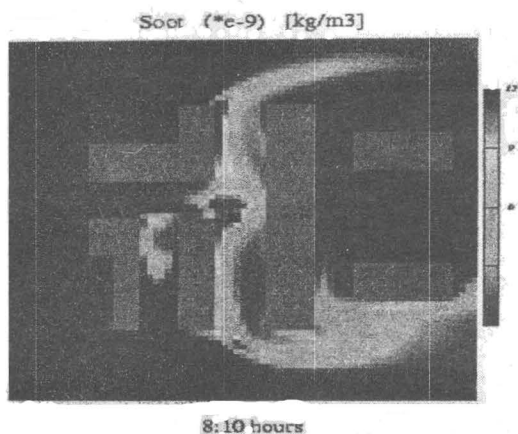


Рисунок 1.8 – Расчет зоны загрязнения, формирующейся между зданиями (CWE модель [119])

Вторая подгруппа численных моделей – это модели, основанные на численном решении уравнения переноса примеси (2D, 3D варианты) [62, 95]. Модели данной подгруппы позволяют оперативно рассчитывать динамику загрязнения атмосферного воздуха с учетом основных физических факторов, влияющих на процесс переноса примеси в атмосфере.

Наукове видання

Біляєв Микола Миколайович
Берлов Олександр Вікторович
Машихіна Поліна Борисівна

Монографія

МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ ПРОЦЕСІВ
АВАРІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ

Російською мовою

Матеріал друкується в авторській редакції

Підписано до друку 23.12.2014р.
Формат 60х84 ^{1/16}. Гарнітура FreeSetC. Папір офсетний.
Ум. друк. арк. 9.99. Тираж 300 прим.
Зам. № 6792.

Видавництво ТОВ «Акцент ПП»
вул. Ларіонова, 145, м. Дніпропетровськ, 49052
тел. (056) 794-61-04(05)
Свідцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 4766 від 04.09.2014.

Віддруковано в ТОВ «Акцент ПП»
вул. Ларіонова, 145, м. Дніпропетровськ, 49052
тел. (056) 794-61-04(05)
Свідцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 4766 від 04.09.2014.