

АНАЛИЗ РИСКА АВАРИЙ С ФОРМИРОВАНИЕМ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ ПРОРЫВА НА МАЗУТНЫХ РЕЗЕРВУАРАХ ТЭЦ

КОЗЛИТИН А.М., канд. техн. наук, доцент, **ПОПОВ А.И.**, д-р техн. наук, профессор (Саратовское региональное отделение РЭА), **КОЗЛИТИН П.А.**, инженер (Саратовский филиал ВАУ)

Как известно, сооружение и функционирование энергонасыщенных и химически опасных промышленных объектов всегда сопряжено с риском разрушительного высвобождения собственного запаса топлива или неконтролируемого выброса химически опасных веществ, что может привести к потерям материальных ценностей, гибели людей и окружающей природной среды. В значительной степени это относится к топливно-энергетическому комплексу (ТЭК), интегрирующему экологически высокорисковые отрасли промышленности, которые осуществляют добычу, переработку, хранение и транспортировку топливно-энергетических ресурсов, производство, транспорт и преобразование электроэнергии. Важным компонентом ТЭК являются тепловые электростанции (ТЭС) и теплоэлектроцентрали (ТЭЦ).

Как правило, теплоэлектроцентрали размещены в непосредственной близости от потребителей тепла – в промышленных зонах или пригородах практически всех областных центров России. Данный факт, а в большинстве случаев и отсутствие санитарно-защитных зон, определяют быстроту воздействия поражающих факторов при авариях на потенциально опасных составляющих ТЭЦ, что ведет к увеличению социального и индивидуального рисков для населения.

В этой связи представляет определенный интерес анализ рисков теплоэлектроцентралей. Такой анализ выполнен авторами статьи при декларировании промышленной безопасности ТЭЦ одного из областных городов Поволжского региона. Декларирование промышленной безопасности объектов энергетики такого уровня выполняется впервые.

К основным составляющим данных объектов, идентифицированных по предельному количеству опасных веществ в соответствии с Федеральным законом о промышленной безопасности опасных производственных объектов [1] и определяющих риск поражающего воздействия на персонал, население и прилегающую селитебную территорию, как показали наши расчеты, могут быть отнесены система мазутоснабжения (мазутное хозяйство), цех химводоочистки (ХВО) с баками химреагентов, система маслоснабжения ТЭЦ. Рассмотрим возможные сценарии развития аварий на одной из ТЭЦ областного города Поволжского региона, выделив, в рамках данной статьи, в качестве основных источников потенциальной опасности емкостное оборудование мазутного хозяйства.

В резервуарных парках мазутного хозяйства возможны следующие пути возникновения и развития аварий: взрывы в газовом пространстве резервуара; пожары в резервуарах; пожары разлития; гидродинамическая волна прорыва при квазимгновенном раскрытии резервуара.

Основная опасность мазутохранилищ, приводящая к катастрофическим последствиям с большим материальным ущербом и гибелью людей, связана с возможностью

полного разрушения резервуара и формированием гидродинамической волны прорыва. Процесс разрушения резервуара чрезвычайно быстрый, а ударная сила образовавшейся волны прорыва достаточно велика. Нормативное обвалование, рассчитанное на гидростатическое удержание вылившейся жидкости, под воздействием гидродинамического потока в 49% случаях разрушалось или промывалось, а в 29% - поток перехлестывал через него [2;3]. Как следствие, жидкость растекалась по прилегающей территории на площади от нескольких десятков до сотен тысяч квадратных метров.

Статистика аварий подтверждает сказанное: аварийный разлив на Камской нефтебазе Ростовской обл. (1960 г.) при разрушении резервуара $V = 700 \text{ м}^3$, площадь пожара 10 тыс. м^2 , погибло более 40 человек; аварийный разлив на нефтебазе г. Дудинка (1983 г.) при разрушении резервуара РВС-5000, площадь пожара 18 тыс. м^2 , погибло 2 человека; аварийный разлив на НГДУ Кама-Измагил «Татнефть» (1987 г.) при разрушении резервуара РВС-5000, площадь пожара 9 тыс. м^2 .

Наиболее опасным фактором гидродинамического растекания является перенос вместе с горячей жидкостью открытого огня, теплового излучения пламени и других опасных факторов пожара.

Исходя из анализа возможных причин и факторов, способствующих возникновению и развитию аварий и основываясь на физических свойствах топочного мазута, рассмотрим одну из возможных групп сценариев аварий в резервуарном парке мазутного хозяйства ТЭЦ, сопровождающихся формированием полей поражающих факторов с риском нанесения социального и материального ущерба, рис. 1.

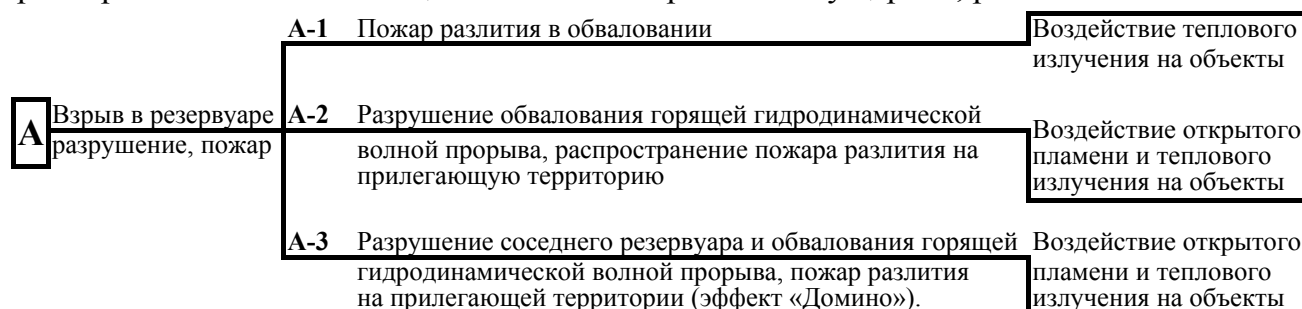


Рис. 1. Пути развития аварии в резервуарном парке мазутного хозяйства ТЭЦ

Ниже оценивается возможное число пострадавших для наиболее тяжелого, катастрофического по своим последствиям сценария А-3 – **гидродинамическое истечение горящего мазута**.

При реализации аварийной ситуации по сценарию «А-3», в зоне действия открытого пламени могут оказаться здания и сооружения, в которых находится значительное количество обслуживающего персонала станции.

Возможность человека покинуть опасную зону до прихода в рассматриваемую точку горячей гидродинамической волны прорыва будет зависеть от времени добегания до данной точки горячей жидкости, адекватности действий человека в сложившейся ситуации и скорости его передвижения.

Оценка времени растекания горящего мазута. На уровне инженерной оценки времени растекания горящего мазута будем исходить из предположения, что «цилиндрический» слой жидкости, образовавшийся в результате квазимгновенного разрушения резервуара, растекается под действием только гравитационных сил, рис. 2.

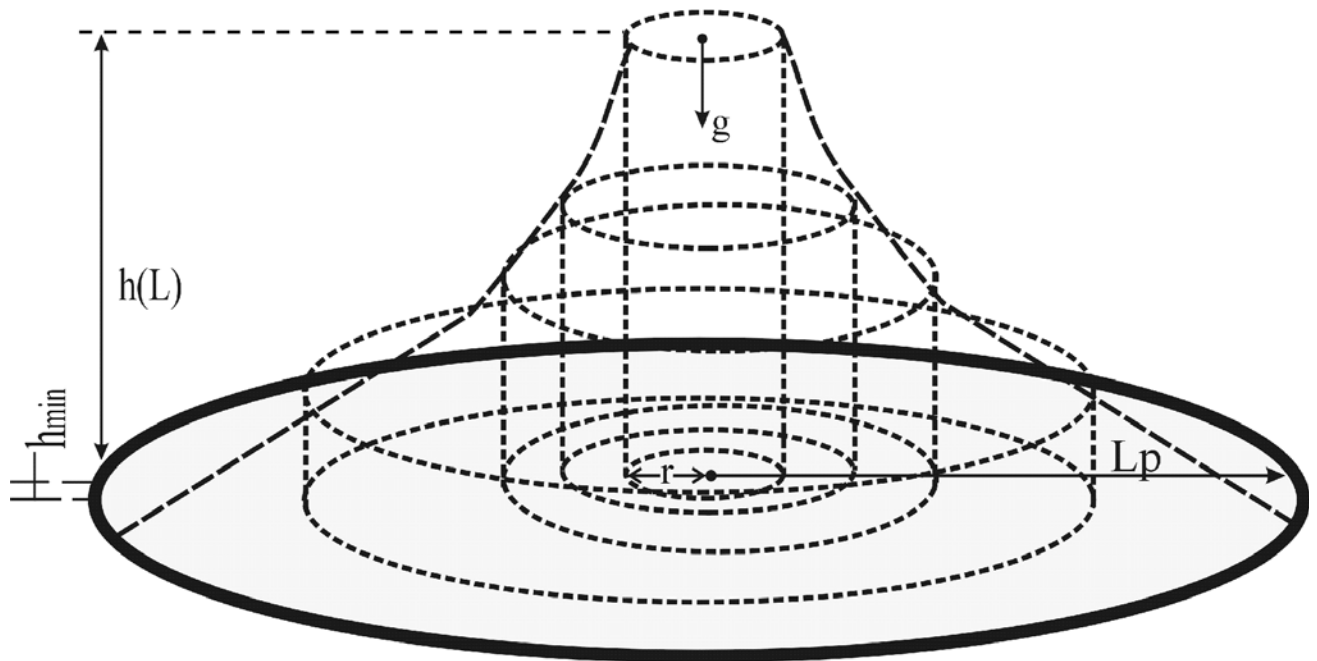


Рис. 2. Принцип расчета гравитационного растекания цилиндрического слоя жидкости

Скорость гравитационного растекания горящего мазута dL/dt при квазимгновенном разрушении резервуара, связана с текущей толщиной «цилиндрического» слоя жидкости $h(L)$ следующим соотношением

$$\frac{dL}{dt} = \sqrt{2 \cdot g \cdot [h(L) - h_{\min}]}, \quad (1)$$

где g – сила тяжести; h_{\min} – минимальная толщина «цилиндрического» слоя жидкости.

Текущая толщина слоя $h(L)$ для данного объема растекающейся жидкости зависит от массы вещества, участвующего в аварии, его плотности при заданной температуре, текущего значения площади зеркала разлития и определяется выражением

$$h(L) = \frac{Q}{\rho \cdot \pi \cdot L^2}, \quad (2)$$

где Q – масса вещества участвующего в аварии; ρ – плотность вещества; L – текущее значение радиуса зеркала разлития.

Минимальная толщина слоя жидкости h_{\min} для многотонных разлитий определяется видом вещества, структурой и рельефом подстилающей поверхности и может составлять от нескольких миллиметров до нескольких десятков сантиметров, с учетом пропитки грунта.

Из выражений (1) и (2) определим время добега жидкости $t(L)$ до точки, расположенной на расстоянии L от аварийного резервуара

$$t(L) = \int_r^L \frac{1}{\sqrt{2 \cdot g \cdot \left(\frac{Q}{\rho \cdot \pi \cdot L^2} - h_{\min} \right)}} dL; \quad r \leq L \leq L_p, \quad (3)$$

где r – радиус аварийного резервуара; L_p – максимальный радиус зеркала разлития при полном растекании мазута по подстилающей поверхности до минимальной толщины слоя жидкости, принятой $h_{\min} = 10$ см.

Характер изменения времени $t(L)$ и скорости dL/dt добегания гидродинамической волны прорыва мазута до рассматриваемой точки территории для реальных параметров хранения мазута и характеристик местности, показаны на рис. 3.

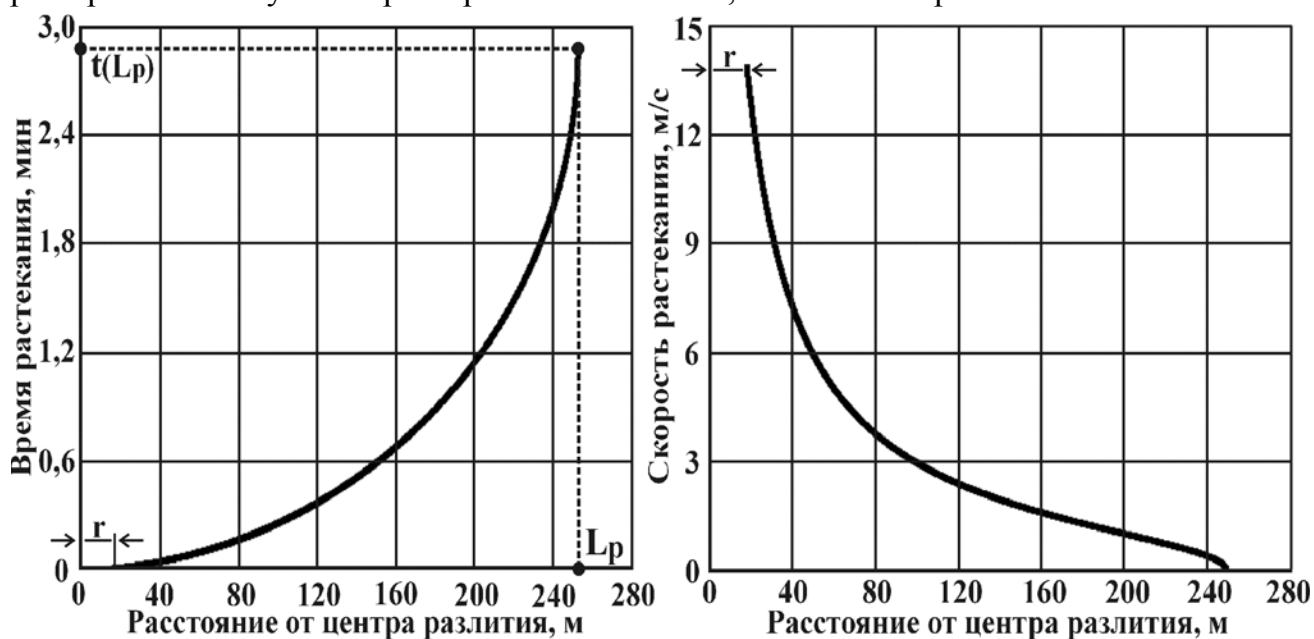


Рис. 3. Характер изменения времени и скорости добегания гидродинамической волны прорыва мазута до рассматриваемой точки территории при развитии аварии по сценарию А-3 на резервуаре РВС-20000

Анализ полученных результатов позволяет утверждать, что за 3 мин. – время формирования зоны открытого пламени, обслуживающий персонал, оказавшийся в этой зоне, практически не успеет покинуть свои рабочие места и получит сильные ожоги.

Форма зоны открытого пламени при растекании горящего мазута зависит от вида рельефа прилегающей к объекту территории. Для равнинно-плоских участков местности, с учетом рекомендаций [2], зона открытого пламени, определяется площадью приведенного круга, с центром в точке расположения резервуара.

На рис.4, в качестве примера, показаны зоны возможного теплового поражения при аварии на резервуарах типа РВС-20000.

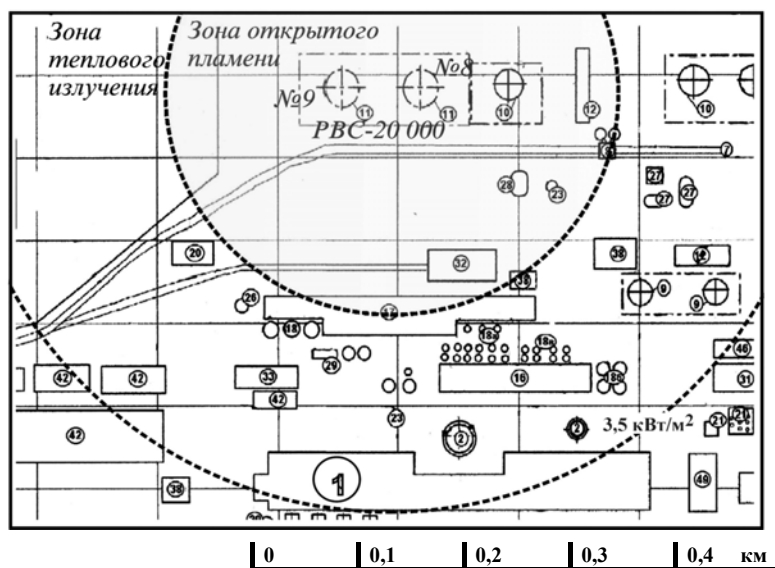


Рис. 4. Зоны возможного теплового поражения персонала ТЭЦ при развитии аварии по сценарию А-3 (для РВС-20000)

Результаты детерминированной оценки возможного числа пострадавших при реализации максимальной гипотетической аварии по сценарию А-3, для реальных условий, приведены в табл.1.

Таблица 1

Оценка возможного числа пострадавших в результате аварии по сценарию А-3

№ на схеме	Наименование сооружения	Численность работающих	Число пострадавших	
			Смертельно пораженных (зона открытого пламени)	Получивших ожоги различной степени (зона теплового излучения)
12	Мазутонасосные	5	5	—
32	Склад	5	5	—
17	Здание ХВО-II;III	59	17	42
16	Здание ХВО-I	15	—	15
33	Мастерские	15	—	15
	Всего:	99	27	72

Однако детерминированная оценка не позволяет судить о степени опасности объекта. Для этого важно знать величину индивидуального риска и ожидаемый ущерб от аварий, которые рассматриваются ниже.

Анализ риска аварий с формированием гидродинамической волны прорыва. В резервуарном парке мазутохранилища аварии могут развиваться по пути распространения пожара разлива с нанесением социального, материального и экологического ущерба. В этой связи, в качестве меры опасности нами рассматривается [4;5;6] интегрированный риск $R(Y_{\Sigma})$ – комплексный показатель безопасности, выраженный в едином стоимостном эквиваленте и объединяющий в себе риски социального $R(Y_C)$, материального $R(Y_M)$ и экологического $R(Y_{\text{Э}})$ ущербов

$$R(Y_{\Sigma}) = R(Y_C) + R(Y_M) + R(Y_{\text{Э}}). \quad (4)$$

Для оценки рисков таких событий необходимо знать частоту возникновения (λ_A) и условные вероятности (P_A) развития аварии на объекте, а также вероятности последствий поражающего воздействия на человека, технологическое оборудование, здания и сооружения. В рамках данной статьи представляется возможным рассмотреть более подробно только последовательность оценки риска социального ущерба или, в интерпретации РД 03-418-01 [7], коллективного риска. В основу модели коллективного риска положена формула, связывающая частоту реализации неблагоприятного события и ущерб, нанесенный данным неблагоприятным событием, которая может быть записана в следующем виде

$$\begin{cases} R(Y_C) = \text{ЦСЖ} \cdot \sum_{i,j} R_i \cdot P_{i,j} \cdot N_{i,j}; \\ i = 1, 2 \dots n; \quad j = 1, 2 \dots m, \end{cases} \quad (5)$$

где R_i – распределение суммарного потенциального риска по зонам теплового поражения индивидуума; $N_{i,j}$ – распределение персонала объекта на прилегающей к аварийному оборудованию территории; $P_{i,j}$ – вероятность пребывания человека в рассматриваемой точке; ЦСЖ – цена спасения жизни человека; n – число учитываемых зон теплового поражения; m – количество имеющихся на объекте мест нахождения персонала в пределах i -й зоны теплового поражения.

Социальный ущерб определяется количеством ожидаемых летальных исходов в пределах круга вероятного поражения и измеряется в стоимостном эквиваленте. С этой

целью в уравнение коллективного риска введена нами [4;5] величина ЦСЖ, которая рассматривается как средневзвешенные по основным сферам жизнедеятельности затраты на спасение жизни каждого дополнительного индивидуума. При этом в расчетах учитывается нижнее, среднее и верхнее значение ЦСЖ, соответственно 100 тыс., 600 тыс. и 1 млн. руб. на человека.

Потенциальный риск в нашем случае рассматривается как пространственное распределение, в пределах круга вероятного поражения (КВП), частоты реализации поражающего воздействия. КВП интерпретируется нами [4;6] как площадь внутри окружности с центром в точке реализации опасности, за пределами которой вероятность поражения реципиента риска исчезающе мала. Радиус окружности, ограничивающей данную территорию, определяется установленным для рассматриваемого реципиента риска порогом воздействия основного поражающего фактора при реализации на потенциально опасном объекте постулируемой максимальной гипотетической аварии.

Рассмотрим последовательность оценки суммарного потенциального риска R_i в пределах i -й зоны круга вероятного поражения для определенного типа аварий. В наших исследованиях [4;8] потенциальный риск поражения людей обоснован и представлен интегральной формулой полной вероятности:

$$R_i = \int_{M_{\min}}^{M_{\max}} f(M) \cdot P(\Gamma/M) dM, \quad (6)$$

где $f(M)$ – плотность распределения частот аварийных выбросов; $[M_{\min}; M_{\max}]$ – диапазон изменения массы аварийных выбросов в рассматриваемой группе сценариев; $P(\Gamma/M)$ – условная вероятность теплового поражения человека в рассматриваемой точке пространства (определяется координатным законом теплового поражения человека) [4]; Γ – расстояние от аварийного резервуара до места нахождения персонала.

Функция $f(M)$ определяется методами регрессионного анализа. Методика построения регрессионной модели возникновения и развития техногенных аварий разработана в Саратовском региональном отделении РЭА и изложена в [4,8]. При построении регрессионной модели учитывается весь спектр возможных аварийных выбросов от M_{\min} до M_{\max} в рассматриваемой группе сценариев и частоты их появления, взвешенные по условным вероятностям возникновения и развития аварий в мазутохранилище. Такой подход позволяет получить на основе репрезентативной выборки из определенного класса аварий в мазутохранилище интегральную оценку потенциального риска в местах нахождения персонала, расположенных в пределах КВП.

Если нас интересует оценка последствий конкретного набора сценариев, то достаточно использовать дискретный аналог формулы (6)

$$R_i = \sum_j P(M_j) \cdot P(\Gamma/M_j), \quad (7)$$

где j номер сценария (гипотезы), $P(M_j)$ вероятность гипотезы j , $P(\Gamma/M_j)$ условная вероятность координатного поражения при гипотезе j [16].

Рассмотрим в качестве примера вклад в (7) одного, но наиболее тяжелого по своим последствиям сценария – квазимгновенного разрушения резервуара с формированием

горящей гидродинамической волны прорыва, который интерпретируется нами как максимальная гипотетическая авария (МГА) в мазутохранилище ТЭЦ.

Для оценки соответствующей ему вероятности $P(M_{max})$ представим эту гипотезу как сложное событие, являющееся произведением таких элементарных событий как взрыв в газовом пространстве резервуара, разрушение, пожар → формирование горячей гидродинамической волны прорыва → разрушение обвалования и соседнего резервуара, растекание горящего мазута по территории объекта (сценарий «А-3»). Эти элементарные события описываются вероятностями P_k , поэтому

$$P(M_{max}) = \lambda_A \cdot \prod_k P_k, \quad (8)$$

где λ_A – частота аварий в мазутохранилище.

Значение P_k в уравнении (8) определялось с использованием дерева событий, при этом учитывались вероятности отказов резервуаров в зависимости от типа и вместимости [2;3]. Фрагмент дерева событий для группы сценариев показан на рис.5.

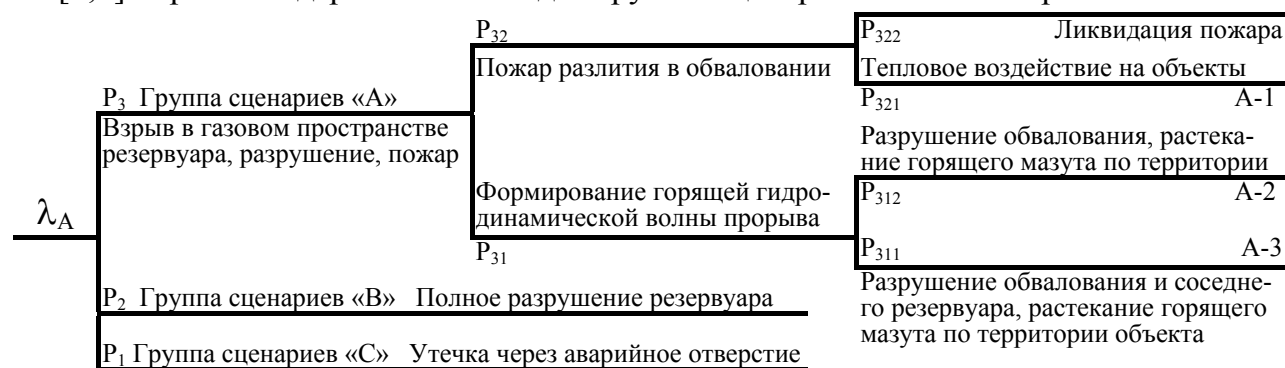


Рис.5. Фрагмент дерева событий для аварий в резервуарном парке мазутохранилища

Из (7) и (8) следует выражение для потенциального риска R_i^* теплового поражения человека при максимальной гипотетической аварии в мазутохранилище ТЭЦ с возникновением горячей гидродинамической волны прорыва (сценарий «А-3»)

$$R_i^* = \lambda_A \cdot P^*(\Gamma) \cdot \prod_{k=1}^s P_k \quad (9)$$

где $P^*(\Gamma)$ – соответствующий максимальной гипотетической аварии координатный закон теплового поражения человека; s – число рассматриваемых элементарных событий, совместное выполнение которых предопределяет развитие МГА в мазутохранилище ТЭЦ.

Величина λ_A определялась на основе статистических данных об авариях резервуаров на объектах хранения нефтепродуктов. В работах [2;3,9] анализ разрушений резервуаров представлен как частная выборка из генерального статистического массива зарегистрированных случаев пожаров и аварий на резервуарах по стране за тридцатипятилетний период с 1960 по 1995 гг. На основе данных [2;3,9] среднестатистическая частота аварий в резервуарных парках объектов энергетики (мазутохранилища тепловых электростанций) составляет $5,73 \cdot 10^{-4}$ год⁻¹ на резервуар.

Определение координатного закона теплового поражения человека при формировании горячей гидродинамической волны прорыва. При расчете величины $P^*(\Gamma)$ в уравнении (9) исходили из следующих предположений:

1) В зоне действия открытого пламени условная вероятность летального исхода равна единице $P^*(\Gamma) = 1$.

2) В зоне действия теплового излучения с поверхности фронта пламени горящего разлития поражение человека, при получении им определенной дозы теплового излучения, носит случайный характер и описывается параметрической зависимостью «доза-эффект» $P(D)$. В качестве функции «доза-эффект» $P(D)$ широко используется аппроксимация параметрического закона поражения человека распределением Гаусса–Лапласа (функция ошибок) [10;11;12;13]. Верхним пределом интеграла функции ошибок является так называемая пробит–функция (Pr), отражающая связь дозы теплового излучения и пробита относительной частоты поражения. Значения параметров пробит–функции зависят от рассматриваемой степени поражения человека [10;11;13].

Однако, зная параметрический закон поражения человека $P(D)$, мы не можем судить о характере распределения потенциального риска на прилегающей территории. Для решения данной задачи необходимо знать, как изменяется вероятность поражения человека по мере удаления от источника опасности, то есть от параметрического закона мы должны перейти к координатному закону теплового поражения человека.

Для перехода от параметрического закона поражения $P(D)$ к координатному $P(\Gamma)$ используем функциональную связь изменения теплового потока от расстояния $q = q(\Gamma)$, представленную в методике [12]. В соответствии с нашими исследованиями [4;8] и учетом сделанных выше предположений, определяется характер распределения условной вероятности теплового поражения $P^*(\Gamma)$ в зоне действия опасных факторов пожара – открытого огня и теплового излучения с поверхности фронта пламени гидродинамической волны прорыва, представленной следующим выражением:

$$\left\{ \begin{array}{l} P^*(\Gamma) = \begin{cases} 1 & \text{при } \Gamma \leq L_p \\ \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{Pr(\Gamma)-5} \exp\left(-\frac{Z^2}{2}\right) dZ & \text{при } \Gamma > L_p \end{cases} \\ Pr(\Gamma) = A + B \cdot \ln\left[t_0 \cdot (q(\Gamma) - J)^{4/3}\right] \quad t_0 = \text{const} \end{array} \right. , \quad (10)$$

где t_0 – эффективное время экспозиции; $q(\Gamma)$ – интенсивность теплового излучения в зависимости от расстояния; J – нижний порог теплового поражения человека; $Pr(\Gamma)$ – пробит–функция; Z – переменная интегрирования; A, B – параметры пробит–функции. Для летальных исходов, в соответствии с рекомендациями [11;12], параметры пробит–функции соответственно равны $A = -14,9$, $B = 2,56$.

Рассмотрим величины, входящие в уравнение (10).

Время пребывания в зоне теплового облучения (t_0) при пожаре зависит от адекватности действий человека в сложившейся ситуации (не менее 5 с на оценивание обстановки и принятие решения [12,13]) и скорости его передвижения к безопасной зоне (не

более 4 – 5 м/с [12,13]). Также необходимо учитывать и тот факт, что фронт пламени движется со скоростью, определяемой скоростью растекания горящего мазута, рис.3. Исходя из сказанного, эффективное время облучения человека консервативно принято при расчетах $P^*(\Gamma)$ равным $t_0 = 30$ с.

Понимание того, что при заданном времени экспозиции существует граничный (пороговый) уровень теплового потока, ниже которого вероятность летального исхода при тепловом поражении индивидуума исчезающе мала, в уравнение (10) нами введен параметр граничного, порогового воздействия J . В качестве нижнего порога теплового воздействия для производственного персонала нами принята величина $J \leq 3,5$ кВт/м². Данная величина обосновывается тем, что минимальная доза теплового потока $D_{\min} = J \cdot t_0$, которую может получить человек на внешней границе КВП за время t_0 , не должна превысить дозу, соответствующую ожогу первой степени поражения [10;14].

Результаты расчетов распределения вероятностей летальных исходов вследствие теплового поражения человека на прилегающей к объекту территории (координатные законы поражения), при реализации максимальной гипотетической аварии на резервуарах РВС-20000 по сценарию А-3, показаны на рис.6.

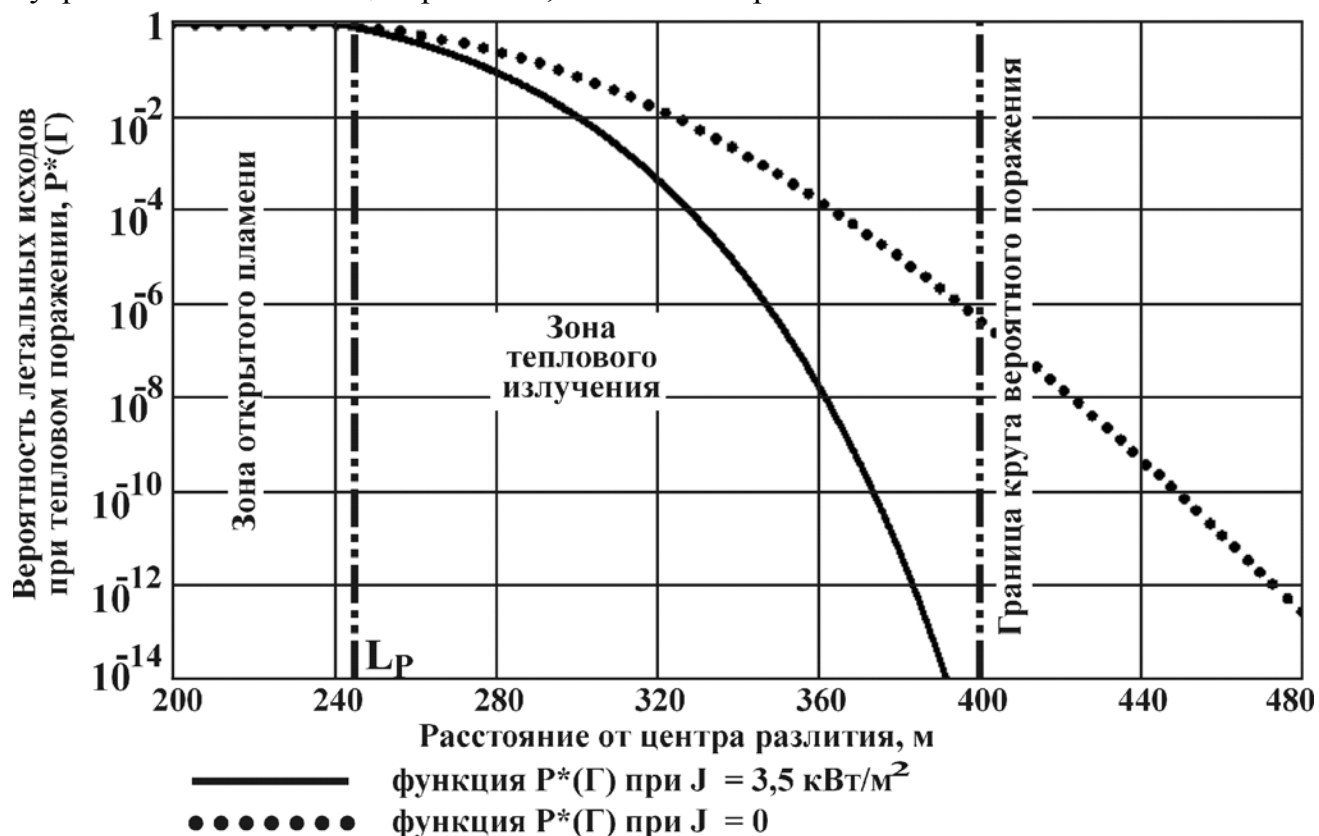


Рис.6. Координатные законы распределения вероятностей летальных исходов при тепловом поражении человека на прилегающей к аварийному резервуару территории для максимальной гипотетической аварии (сценарий А-3 на резервуарах РВС-20000)

Из сравнительного анализа координатных законов, представленных на рис. 6 можно видеть, что функция вероятностей летальных исходов $P^*(\Gamma)$, учитывающая параметр порогового воздействия J , стремится к нулю, при асимптотическом приближении к внешней границе КВП. В другом случае, при $J = 0$, вероятность летальных исходов, в результате воздействия теплового излучения остается значимой и за пределами КВП,

что приводит, по нашему мнению, к необоснованному завышению уровня опасности объекта.

Результаты расчетов коллективного риска при реализации сценария «А-3» на резервуарах РВС-20000, выполненные на основе разработанной нами методики применительно к условиям конкретной ТЭЦ, приведены в табл.2.

Таблица 2

Коллективный риск от аварий в резервуарном парке мазутохранилища ТЭЦ

№ на схеме	Наименование сооружения	Коллективный риск, чел./год		Коллективный риск $R(Y_c)$ в денежном эквиваленте, тыс. руб./год <i>при ЦСЖ, руб./чел.</i>		
		Зона открытого пламени	Зона теплового излучения	100 000	600 000	1000 000
12	Мазутонасосные	$3,0 \times 10^{-3}$		0,3	1,8	3,0
32	Склад	$1,2 \times 10^{-3}$		0,12	0,72	1,2
17	Здание ХВО-II,III	$1,0 \times 10^{-2}$	$9,4 \times 10^{-3}$	1,9	11,6	19,0
16	Здание ХВО-I	—	$8,0 \times 10^{-8}$	8×10^{-6}	$4,8 \times 10^{-5}$	8×10^{-5}
33	Мастерские	—	$8,2 \times 10^{-6}$	$8,2 \times 10^{-4}$	$4,9 \times 10^{-3}$	$8,2 \times 10^{-3}$
	Суммарный риск:	$2,36 \times 10^{-2}$		2,36	14,16	23,6

Выполненный анализ опасностей в мазутохранилищах ТЭЦ позволяет констатировать, что при возникновении и развитии максимальной гипотетической аварии на резервуарах РВС-20000 по сценарию «А-3», коллективный риск в денежном эквиваленте составляет от 2,4 до 23,6 тыс. руб./год и определяется в основном возможностью смертельных исходов в случае затопления территории горячей волной прорыва.

Приведенные в статье методы количественной оценки риска аварий на теплоэлектростанциях, вошли, как одна из составляющих, разработанного в Саратовском региональном отделении Российской экологической академии алгоритма расчета интегрированного риска потенциально опасных объектов техносферы [4;15].

Список литературы

1. Федеральный закон о промышленной безопасности опасных производственных объектов № 116-ФЗ от 21 июля 1997 г.
2. Швырков С.А., Семиков В.Л., Швырков А.Н. Анализ статистических данных разрушений резервуаров // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. 1996. Вып.5. С.39-50.
3. Сучков В.П. Актуальные проблемы обеспечения устойчивости к возникновению и развитию пожара технологий хранения нефти и нефтепродуктов. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1995.
4. Козлитин А.М., Попов А.И. Методы технико-экономической оценки промышленной и экологической безопасности высокорисковых объектов техносферы. Саратов: СГТУ. 2000. 216 с.
5. Попов А.И., Козлитин А.М. Методологические подходы и количественная оценка риска чрезвычайных ситуаций в регионах с потенциально опасными объектами. //Безопасность труда в промышленности, 1995, №2, с.1-4
6. Козлитин А.М., Попов А.И. Оценка риска при декларировании безопасности химических производств. //Безопасность труда в промышленности. 1997, №2. С.21-25.
7. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. Утверждены Госгортехнадзором России Постановлением от 10.07.2001 г. №30

8. Kozlitiн A.M., Popow A.I. Metodyka oceny zintegrowanego ryzyka potencjalnie niebezpiecznych obiektów technosfery // *Ekonomia i Środowisko: Czasopismo Stowarzyszenia Ekonomistów Środowiska i Zasobów Naturalnych*. Białystok, 1999. Nr 2(15). S. 7-21.

9. Пожары резервуаров с нефтью и нефтепродуктами: Обзорная информация. / В.П. Сучков, И.Ф. Безродный, А.В. Вязниковцев, А.Н. Гилетич, В.П. Молчанов, А.Н. Швырков. // *Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья*. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1992. – Вып. 3-4. – 70 с

10. Котляревский В.А., Шаталов А.А., Ханухов Х.М. Безопасность резервуаров и трубопроводов. М.: Экономика и информатика. 2000. 552 с.

11. Маршалл В. Основные опасности химических производств: Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 672 с.

12. ГОСТ Р 12.3.047-98 ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.

13. Моделирование пожаров и взрывов / Под ред. Н.Н. Брушлинского, А.Я. Корольченко. М.: «Пожнаука», 2000. 492 с.

14. Козлитин А.М., Яковлев Б.Н. Чрезвычайные ситуации техногенного характера. Прогнозирование и оценка: детерминированные методы количественной оценки опасностей техносферы: Учебное пособие / Под ред. А.И. Попова. Саратов: СГТУ. 2000. 124 с.

15. Алгоритм расчета интегрированного риска потенциально опасных объектов техносферы. Саратов: Саратовское региональное отделение РЭА. 2000.

16. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. М.: Высш. шк., 2000. 480 с.