

УДК 662.215.02

АЛГОРИТМ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИОРИТЕТНОГО СЦЕНАРИЯ РАЗВИТИЯ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ НА ОБЪЕКТЕ ЗАЩИТЫ

© **Губина Татьяна Александровна**¹, начальник отдела КБ и ИТО (gubinata@jsc-amulet.ru)
Мосолов Александр Сергеевич², канд. техн. наук, доцент (asmosolov@yandex.ru)
Акинин Николай Иванович², докт. техн. наук, зав. кафедрой (akinin@muctr.ru)

¹ АО «Производственно-внедренческое предприятие «Амулет»,
 Москва, 125362. Россия

² Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева,
 Москва, 125047. Россия

В статье предложен алгоритм определения приоритетного сценария развития аварийной ситуации в результате совершения акта незаконного вмешательства, в том числе террористического акта внутренним нарушителем, путем реализации угрозы технического воздействия на критические элементы объекта. Выбраны критерии, определяющие приоритет сценария и произведен расчет их значений. Выбор приоритета основан на методе многокритериальной оптимизации – методе «смещенного идеала». На базе разработанного алгоритма предприятия топливно-энергетического комплекса (ТЭК) получают возможность обосновать выводы об определении категории потенциальной опасности от акта незаконного вмешательства и разработать компенсационные мероприятия для системы технологической безопасности.

Ключевые слова: приоритетный сценарий; аварийная ситуация; технологическая безопасность; комплексная безопасность объектов ТЭК; террористический акт; угроза технического воздействия; внутренний нарушитель; анализ дерева отказов; анализ дерева событий.

Одной из важных составляющих безопасности объектов топливно-энергетического комплекса (ТЭК) является обеспечение его технологической безопасности. В рамках Федерального закона № 256-ФЗ [1] защитные меры формируются на основании присвоенной объекту категории потенциальной опасности от акта незаконного вмешательства и установленных уровней защищенности его критическим элементам. В 75 % случаев при категорировании объектов ТЭК, согласно статистическим данным специализированных организаций АО «Амулет» [2] и ФГАУО ДПО «ИПК ТЭК» [3], потенциальной угрозой для совершения акта незаконного вмешательства предприятия выделяют угрозу технического воздействия, которая направлена на дестабилизацию функционирования объекта и прекращение ведения технологических процессов. Подобные угрозы в отношении опасных производственных объектов относят к «технологическому терроризму».

Целью совершения террористического акта является причинение экономического, экологического, социального ущерба объектам ТЭК и в целом государству. Задачи, которые ставит перед собой нарушитель при совершении террористического акта:

- нарушение функционирования объекта (или участка объекта) на длительный период времени;
- нарушение условий жизнедеятельности населения в зоне чрезвычайной ситуации, возникшей в результате террористического акта;
- задачи, основанные на иных злонамеренных целях нарушителей.

Структура промышленной безопасности должна быть направлена на то, чтобы обеспечить защиту объекта от технологического терроризма. Поэтому задача определения приоритетных сценариев развития аварийных ситуаций, к реализации которых будет стремиться потенциальный нарушитель, представляется актуальной.

В этой связи возникла необходимость в разработке метода, целью которого является:

- обоснование выбора (внутренним нарушителем) сценария развития аварийной ситуации на объекте защиты в результате реализации базовой угрозы «Угроза технического воздействия»;
- усовершенствование системы комплексной безопасности объекта посредством разработки компенсационных мероприятий для защиты от совершения террористических актов, в том числе от актов технологического терроризма.

Данный метод позволит установить последовательность действий для определения приори-

тетного сценария развития аварийной ситуации при совершении угрозы технического воздействия в рамках акта незаконного вмешательства в отношении объекта защиты. Метод предназначен для объектов ТЭК [1]: объекты нефтеперерабатывающей, нефтехимической, газовой, электроэнергетики, угольной, сланцевой, нефтедобывающей и торфяной промышленности, а также объекты нефтепродуктообеспечения, теплоснабжения и газоснабжения.

Приоритетным сценарием назовем сценарий, при котором значения показателей негативных последствий являются наивысшими при максимальной вероятности его реализации.

Критериями выбора приоритетного сценария являются:

Критерий 1 – вероятность отказа системы;

Критерий 2 – зоны чрезвычайной ситуации, м;

Критерий 3 – экономический ущерб, руб.;

Критерий 4 – число пострадавших, чел.

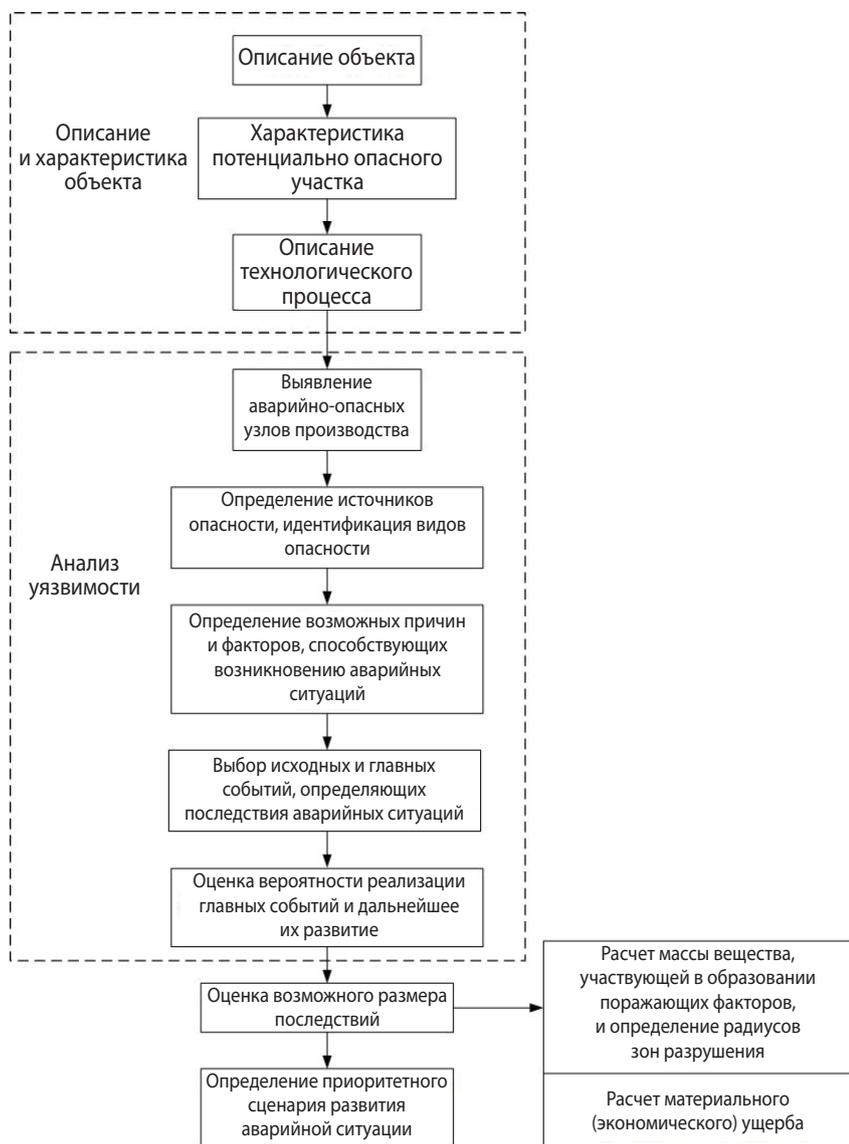
Значения показателей указанных критериев выражаются в числовых значениях. Количество критериев, существенных для приоритетного сценария развития аварийной ситуации, который будет стремиться реализовать нарушитель, может быть увеличено. И определяющими здесь могут выступить характеристики самого исполнителя террористического акта. В частности, психологический портрет, от которого зависят варианты поведенческих моделей человека. Алгоритм определения приоритетного сценария развития аварийной ситуации представлен на **рис. 1**.

Работа метода поясняется на примере оценки безопасности блока компримирования водорода установки производства водорода, содержащей девять элементов: пять клапанов-отсекателей (UV 1010; UV 1011; UV 1013; UV 1015; UV 1018), два дожимных компрессора (К-2/А.В), сепаратор (С-3) и водяной холодильник продуктового водорода (Х-3).

Первоначально проводим сбор и обработку исходной информации, к которой относятся:

- наименование объекта – блок компримирования водорода установки производства водорода;
- проектная мощность установки – 15000 м³/ч (по продукту);
- метод производства – процесс паровой каталитической конверсии природного газа в сочетании с процессом очистки конвертированного газа методом короткоциклового адсорбции газов на твердых поглотителях с получением водорода высокой чистоты 99,9 % (об.);

– описание технологического процесса – в блоке компримирования водорода очищенный на блоке короткоциклового адсорбции водород направляется в сепаратор С-3 для удаления оставшегося конденсата из продуктового водорода. Уровень конденсата регулируется клапаном на линии сброса конденсата. Из сепаратора С-3 продуктовый водород идет на прием дожимного компрессора К-2/А.В, сжимается до давления



Р и с. 1. Алгоритм метода определения приоритетного сценария развития аварийной ситуации

48 кг/см², охлаждается в холодильнике X-2 до 40 °С и выводится с установки;

– схема технологической установки;

– данные о количестве персонала и режиме их работы – средняя численность 8 человек, максимальная численность 9 человек, обход установки проводится один раз в два часа;

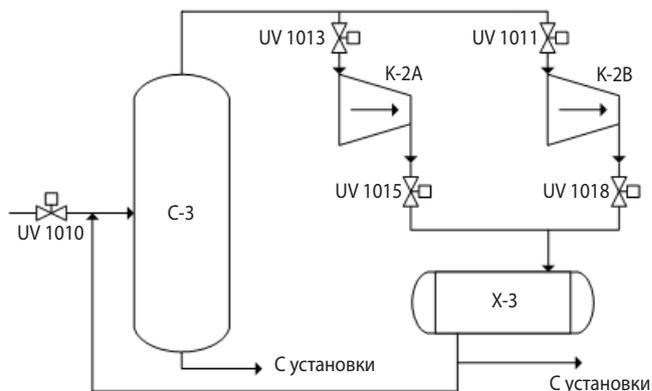
– данные о показателях безотказной работы элементов технологической схемы установки и т. д.

На рис. 2 показана упрощенная схема технологического процесса блока компримирования водорода. Вероятность безотказной работы (P) элементов технологической схемы равна [4]: клапаны-отсекатели – 0,9655; К-2/А.В – 0,9805; X-3 – 0,9711 и С-3 – 0,9885. Вероятность отказа (Q) вычисляется по формуле: $Q = 1 - P$.

Вероятность безотказной системы $P_{\text{системы}} = 0,9655^5 \cdot 0,9805^2 \cdot 0,9711 \cdot 0,9885 = 0,7743$, а вероятность отказа системы $Q_{\text{системы}} = 1 - 0,7743 = 0,2257$

Для реализации нежелательных последствий нарушитель выбирает исходное событие или группу исходных событий для достижения главного события – нарушения функционирования объекта (участка, узла, блока). Исходное событие – единичный отказ в системах (элементах) объекта, внешнее событие или ошибка персонала, которые приводят к нарушению нормальной эксплуатации и могут привести к нарушению пределов и (или) условий безопасной эксплуатации. Исходное событие включает в себя все зависимые отказы, являющиеся его следствием [5].

Исходными событиями, приводящими к наступлению главного, являются отказы наиболее уязвимых элементов технологической схемы (критерий 1), для выявления которых необходимо:



Р и с. 2. Упрощенная схема технологического процесса блока компримирования водорода

– рассмотреть интересующий участок схемы технологического процесса (с указанием всех потоков, основных и резервных элементов системы);

– рассчитать вероятности безотказной работы каждого из элементов системы или взять из справочных данных;

– рассчитать вероятность отказа всей системы при различных вариантах комбинаций отказов элементов этой системы.

Комбинации с наибольшей вероятностью отказа будут представлять наиболее уязвимые места технологической схемы. Результаты расчета вероятности работоспособного состояния и вероятности отказа системы для различных комбинаций элементов можно представить в виде таблицы решений (табл. 1).

Из таблицы решений следует, что наиболее вероятными отказами системы являются комбинации № 1; 3; 5; 6; 8 и 9 с вероятностями отказа 0,0277 и 0,0230 при отказе одного из элементов системы. Наименее вероятным отказом является комбинация № 260 с вероятностью $6,1768 \cdot 10^{-15}$ при отказе всех элементов системы.

Т а б л и ц а 1. Таблица решений элементов системы

№ комбинации	Состояние элементов системы					Вероятность отказа системы
	1 элемент	2 элемент	3 элемент	...	9 элемент	
1	Отказ	Работает	Работает	...	Работает	0,0277
2	Работает	Отказ	Работает	...	Работает	0,0090
3	Работает	Работает	Отказ	...	Работает	0,0277
4	Работает	Работает	Работает	...	Работает	0,0154
5	Работает	Работает	Работает	...	Работает	0,0230
...
260	Отказ	Отказ	Отказ	...	Отказ	$6,1768 \cdot 10^{-15}$
Суммарная величина						0,2257

Таблица 2. Соответствие комбинаций отказов элементов главным событиям

Главное событие	№ комбинации
Разрушение/разгерметизация сепаратора	2; 10; 18; 20; 21; 23 и т. д.
Разрушение/разгерметизация компрессорного агрегата	4; 7; 12; 15; 19; 22; 25; 28; 31; 32; 33; 34; 37; 40; 43 и т. д.
Разрушение/разгерметизация водяного холодильника	9; 24; 30; 35; 39; 42; 44; 45 и т. д.
Разрыв на полное сечение / разгерметизация трубопровода	1; 3; 5; 6; 8; 11; 13; 14; 16; 26; 27; 29; 36; 38; 41 и т. д.

Далее собираем информацию по ведению технологического процесса:

– данные об опасных веществах, обращающихся в оборудовании, и определение основных видов и источников опасности блока компримирования водорода: основными факторами, определяющими взрывопожароопасность блока, является наличие в системе:

- водорода – быстрее других газов распространяется в пространстве, без запаха, при смешении двух объемов водорода с одним объемом кислорода при поджигании взрывается;
- давления до 50 кгс/см²;
- высоких расходов потоков до 15000 м³/ч;
- большого количества фланцевых и сварных соединений, разветвленной сети трубопроводов с многочисленной запорной и регулирующей арматурой.

На основе полученной информации о источниках и видах опасности, а также о результатах анализа уязвимости технологического процесса происходит определение возможных причин наступления событий, предшествующих отказам элементов технологической схемы. Иными словами, происходит совмещение рассчитанных исходных комбинаций отказов с возможными исходными событиями, определенными в соответствии с видами и источниками опасности, предшествующими наступлению данных комбинаций отказов.

Для комбинации № 7 блока компримирования водорода возможны следующие исходные события: механические воздействия посредством влияния на параметры технологического процесса путем превышения значений этих параметров выше регламентированных; механическое воздействие на площадке технологической установки. В соответствии с типом оборудования блока компримирования водорода, по статистическим данным аварий и инцидентов на аналогичном оборудовании, происходит подбор главных событий для всех комбинаций отказов элементов технологической схемы.

На основе анализа причин возникновения и факторов, определяющих исходы аварий, учитывая особенности технологического процесса, свойства и распределение опасных веществ, а также на основании оценки уязвимости техно-

логического процесса можно выделить следующие главные события, для которых проводится оценка последствий (расчет критериев 2–4):

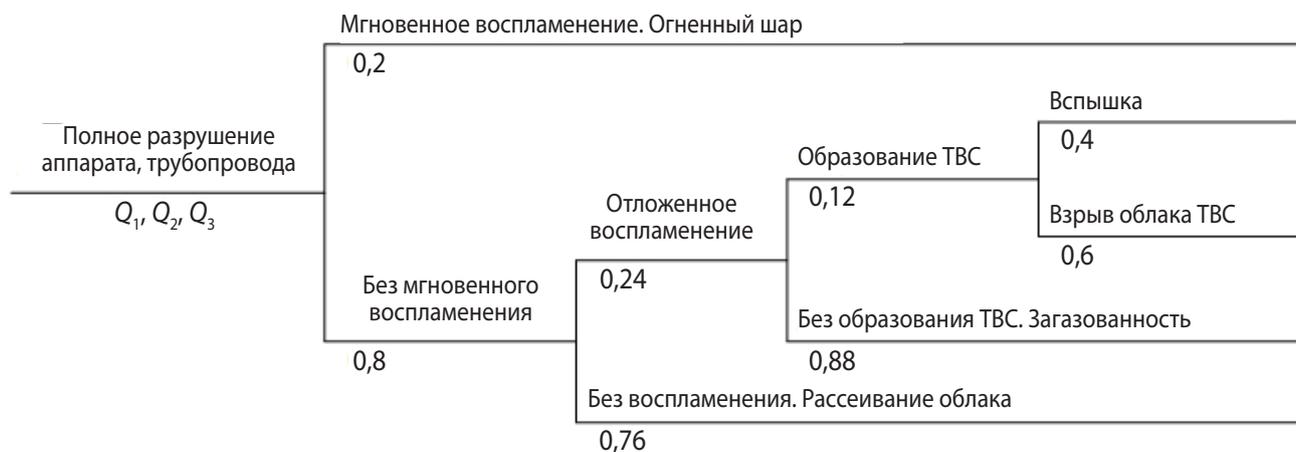
- разрушение/разгерметизация сепаратора;
- разрушение/разгерметизация компрессорного агрегата;
- разрушение/разгерметизация водяного холодильника;
- разрыв на полное сечение / разгерметизация трубопровода.

Для разных комбинаций отказов системы можно рассматривать одно и то же главное событие, например, для комбинаций № 1; 3; 5; 6 и 8 (см. табл. 1) главным событием является разрыв на полное сечение / разгерметизация трубопровода. Аналогичным образом определяем главные события для комбинаций таблицы решений элементов системы, результаты приведены в табл. 2.

Таким образом, расчет последствий сводится к анализу и оценке последствий четырех главных событий. Виды возможных аварий в блоке компримирования водорода и характер их воздействия на окружающую среду определяются номенклатурой обращающихся опасных веществ, их физико-химическими свойствами, особенностями технологического процесса, характеристиками применяемого технологического оборудования, системы технологической безопасности и особенностями их компоновки. Анализ статистических данных аварийных ситуаций, согласно годовым отчетам Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору, показывает, что в блоке компримирования водорода могут реализоваться аварии, сопровождающиеся взрывами. Основным поражающим фактором в случае аварий является ударная волна.

Для главного события «разрушение / разгерметизация сепаратора» возможны следующие сценарии развития аварийной ситуации:

- разрушение / разгерметизация сепаратора → распространение ПГФ → при наличии инициирующего события – взрыв → разрушение оборудования, поражение людей, попавших в зону поражения;
- разрушение / разгерметизация сепаратора → выброс опасного вещества → образование ПГФ



Р и с. 3. Дерево событий при аварии на емкостном и компрессорном оборудовании, трубопроводе

Т а б л и ц а 3. Расчетные числовые значения последствий комбинаций отказов

Комбинация	Критерии			
	вероятность отказа системы	зона ЧС, м	экономический ущерб, руб.	число пострадавших, чел.
K ₁	0,0277	28,05	70508, 7	5
K ₂	0,0090	28,52	73877, 5	7
K ₃	0,0277	30,24	464319, 1	7
K ₄	0,0154	35,15	468433, 9	7
K ₅	0,0277	62,52	1075618, 8	19
K ₆	0,0277	62,52	1075618, 8	19
...

с концентрацией ниже НКПВ → интоксикация персонала.

Для главного события «разрушение/разгерметизация компрессорного агрегата» возможны следующие сценарии развития аварийной ситуации:

– разрушение / разгерметизация компрессора → распространение ПГФ → при наличии инициирующего события – взрыв → разрушение зданий, сооружений, оборудования, коммуникаций, травмирование и гибель персонала;

– разрушение / разгерметизация компрессора → загазованность водородосодержащим газом → распространение ПГФ в свободном пространстве → отложенное воспламенение → взрыв → воздействие ударной волны на людей и оборудование.

Для главного события «разрушение / разгерметизация водяного холодильника» возможны следующие сценарии развития аварийной ситуации:

– разрушение / разгерметизация водяного холодильника → распространение ПГФ → при наличии инициирующего события – взрыв → разрушение зданий, сооружений, оборудования, коммуникаций, травмирование и гибель персонала;

– разрушение / разгерметизация водяного холодильника → выброс опасного вещества → образование ПГФ с концентрацией ниже НКПВ → интоксикация персонала.

Для главного события «разрыв на полное сечение / разгерметизация трубопровода» возможен следующий сценарий развития аварийной ситуации: разрыв на полное сечение / разгерметизация трубопровода → выброс опасного вещества → распространение ПГФ → при наличии инициирующего события – взрыв → разрушение зданий, сооружений, оборудования, коммуникаций, травмирование и гибель персонала.

На рис. 3 представлено дерево событий возможных сценариев развития аварийной ситуа-

Т а б л и ц а 4. Формирование «идеального» и «антиидеального» объекта

Критерий	Идеальный объект	Антиидеальный объект
Вероятность, 1/год	0,0277	0,0002
Зона чрезвычайной ситуации, м	62,52	3
Экономический ущерб, руб.	1075618,8	1939,6
Число пострадавших, чел.	19	0

Таблица 5. Относительные значения критериев определения приоритетного сценария

Комбинация	Относительные значения			
	вероятности	зоны ЧС	экономического ущерба	числа пострадавших
K ₁	1	0,420867	0,063864	0,263158
K ₂	0,32	0,428763	0,067001	0,368421
K ₃	1	0,457661	0,43065	0,368421
K ₄	0,552727	0,540155	0,434482	0,368421
K ₅	1	1	1	1
K ₆	1	1	1	1
K ₇	0,552727	0,540155	0,569781	0,368421
K ₈	1	1	1	1
K ₉	0,829091	0	0	0
K ₁₀	0,003636	0,428763	0,067001	0,368421
K ₁₁	0,029091	0,420867	0,063864	0,263158
K ₁₂	0,014545	0,540155	0,434482	0,368421
K ₁₃	0,029091	1	1	1
K ₁₄	0,029091	1	1	1
K ₁₅	0,014545	0,540155	0,569781	0,368421
K ₁₆	0,029091	1	1	1
K ₁₇	0,021818	0	0	0
K ₁₈	0,003636	0,428763	0,067001	0,368421
K ₁₉	0	0,540155	0,434482	0,368421
K ₂₀	0,003636	0,457661	0,43065	0,368421
K ₂₁	0,003636	0,428763	0,067001	0,368421
K ₂₂	0	0,540155	0,569781	0,368421
K ₂₃	0,003636	0,428763	0,067001	0,368421
K ₂₄	0,003636	0	0	0
K ₂₅	0,014545	0,457661	0,43065	0,368421
K ₂₆	0,029091	1	1	1
K ₂₇	0,029091	1	1	1
K ₂₈	0,014545	0,540155	0,569781	0,368421
K ₂₉	0,029091	1	1	1
K ₃₀	0,021818	0	0	0
K ₃₁	0,014545	0,540155	0,434482	0,368421
K ₃₂	0,014545	0,540155	0,434482	0,368421
K ₃₃	0,003636	0,540155	0,434482	0,368421
K ₃₄	0,014545	0,540155	0,434482	0,368421
K ₃₅	0,010909	0	0	0
K ₃₆	0,029091	1	1	1
K ₃₇	0,014545	0,457661	0,43065	0,368421
K ₃₈	0,029091	1	1	1
K ₃₉	0,021818	0	0	0
K ₄₀	0,014545	0,540155	0,569781	0,368421
K ₄₁	0,029091	1	1	1
K ₄₂	0,021818	0	0	0
K ₄₃	0,014545	0,540155	0,569781	0,368421

ции на установке компримирования водорода.

Зоны чрезвычайной ситуации, как правило, вычисляются в метрах (радиус круга с эпицентром в месте совершения террористического акта), а также характеризуются площадью либо объемом. Структура и порядок определения ущерба от аварий на ОПО указаны в Руководящем документе [6].

Экономический ущерб складывается из: прямых потерь организации, эксплуатирующей ОПО; затрат на локализацию (ликвидацию) и расследование аварии; социально-экономических потерь; косвенного ущерба; экологического ущерба; потерь от выбытия трудовых ресурсов в результате гибели людей или потери ими трудоспособности и оценивается в рублях.

Оценку количества пострадавших (безвозвратные и санитарные потери) из числа работников предприятия, а также третьих лиц, условия жизнедеятельности которых нарушены, проводят в соответствии с «Методическими рекомендациями по определению количества пострадавших при чрезвычайных ситуациях» № 1-4-60-9-9 от 01.09.2007 г.; с помощью программного продукта ТОКСИ^{+risk} или с помощью других программных продуктов или методик, утвержденных правительством.

Расчет параметров взрыва ТВС, зоны чрезвычайной ситуации и оценку количества пострадавших проводили в соответствии с [7], с использованием программного продукта ТОКСИ^{+risk} версии 4.3.5, материальный ущерб для полученных зон чрезвычайной ситуации оценивали в соответствии с [6].

Затем сформировали таблицу расчетных числовых значений последствий приоритетного сценария для каждой комбинации отказов элементов (табл. 3). По совокупности полученных результатов определяется приоритетный сценарий с помощью математических методов и алгоритмов, например – метода смещенного идеала [9].

Метод смещенного идеала состоит из пяти этапов. На первом этапе необходимо сформировать «идеальный» и «антиидеальный» объект, для этого выбираем максимальное (k_j^+) по предпо-

чению значение критерия среди всех объектов, т. е. $k_j^+ = \max_i k_j^i$, и минимальное (k_j^-) по предпочтению значение критерия, т. е. $k_j^- = \min_i k_j^i$. Результаты занесены в табл. 4.

На втором этапе переходим от физических единиц измерения критериев к относительным (табл. 5) в соответствии с выражением (1), при этом все критерии будут изменяться в интервале [0; 1]:

$$d_j^i = (k_j^i - k_j^-) / (k_j^+ - k_j^-), \quad (1)$$

Чем меньше d_j^i , тем ближе объект по критерию k_j к «антиидеальному».

Исходя из суждений о важности критериев, на третьем этапе определяем коэффициенты относительной важности (веса критериев) V_j ($j = 1, 2, \dots, m$). Присваивая различный вес критериям, получим варианты упорядоченной метрики. Варианты присвоения веса критериев представлены в табл. 6.

Далее, на четвертом этапе рассчитываем расстояние объектов до «антиидеала». В качестве метрики используем выражение:

$$L_i^p = \left[\sum_{j=1}^m (V_j d_j^i)^p \right]^{1/p}. \quad (2)$$

При использовании различных значений p можно получить различные метрики. Чем больше значение L_i^p , тем дальше объект от «антиидеала» и ближе к «идеальному». Для сравнения с «идеальным» определим разные метрики, задавая различные значения p . Задаем значение p равным 1; 2; 3 и 0,3, затем определяем суммарное значение этих метрик для каждой комбинации.

На пятом этапе по величине L_i^p упорядочиваем все объекты по близости к «идеалу» для исключения «неприоритетных» вариантов (табл. 7) в соответствии с формулой:

$$k_i^p = \frac{n(n+1)}{2}, \quad (3)$$

где n – число комбинаций.

По полученным данным видно, что варианты с суммарным значением p больше 50 можно исключить, так как они находятся далеко от «идеала». Далее, для выбранных вариантов с суммарным значением p меньше 50 включительно повторяем все этапы выбора «идеала». В итоге получены результаты, представленные в табл. 8.

Из оставшихся комбинаций в качестве наиболее предпочтительных (приоритетных) рассмотрим комбинации K_5, K_6, K_8 с суммарным показателем $p = 8$. Комбинации K_5, K_6, K_8 – это отказ клапанов-отсекателей UV 1015, UV 1018, UV 1020,

Комбинация	Относительные значения			
	вероятности	зоны ЧС	экономического ущерба	числа пострадавших
K_{44}	0,010909	0	0	0
K_{45}	0,021818	0	0	0

Таблица 6. Присвоение веса критериям

Критерий	Вес критерия					
	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6
Вероятность (V_1)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4
Зона ЧС (V_2)	0,7	0,1	0,1	0,2	0,7	0,3
Экономический ущерб (V_3)	0,1	0,7	0,1	0,3	0,1	0,2
Число пострадавших (V_4)	0,1	0,1	0,7	0,4	0,1	0,1

Таблица 7. Упорядочивание объектов по близости к «идеалу»

Комбинация	Сумма $p(N_n)$					
	$p(N_1)$	$p(N_2)$	$p(N_3)$	$p(N_4)$	$p(N_5)$	$p(N_6)$
K_5	8	8	8	8	8	8
K_6	8	8	8	8	8	8
K_8	8	8	8	8	8	8
K_3	16	80	70	52	65	34
K_1	22	113	120	117	120	58
K_7	35	53	53	56	53	50
K_4	39	57	75	60	70	54
K_{13}	49	32	32	32	32	36
K_{14}	49	32	32	32	32	36
K_{16}	49	32	32	32	32	36
K_{26}	49	32	32	32	32	36
K_{27}	49	32	32	32	32	36
K_{29}	49	32	32	32	32	36
K_{36}	49	32	32	32	32	36
K_{38}	49	32	32	32	32	36
K_{41}	49	32	32	32	32	36
K_9	50	148	148	148	148	107
K_2	71	116	121	111	119	97
K_{15}	81	69	64	71	66	77
K_{28}	81	69	64	71	66	77
K_{40}	81	69	64	71	66	77
K_{43}	81	69	64	71	66	77
K_{12}	100	88	90	91	90	97
K_{22}	100	88	83	90	86	95
K_{31}	100	88	90	91	90	97
K_{32}	100	88	90	91	90	97
K_{34}	100	88	90	91	90	97

Продолжение табл. 7

Комбинация	Сумма $p(N_n)$					
	$p(N_1)$	$p(N_2)$	$p(N_3)$	$p(N_4)$	$p(N_5)$	$p(N_6)$
K ₃₃	112	101	102	103	102	109
K ₂₅	117	110	108	109	108	117
K ₃₇	117	110	108	109	108	117
K ₁₉	122	107	109	109	109	116
K ₂₀	125	117	115	116	116	124
K ₁₁	137	140	140	140	140	142
K ₁₀	140	133	133	133	133	137
K ₁₈	140	133	133	133	133	137
K ₂₁	140	133	133	133	133	137
K ₂₃	140	133	133	133	133	137
K ₁₇	160	160	160	160	160	160
K ₃₀	160	160	160	160	160	160
K ₃₉	160	160	160	160	160	160
K ₄₂	160	160	160	160	160	160
K ₄₅	160	160	160	160	160	160
K ₃₅	174	174	174	174	174	174
K ₄₄	174	174	174	174	174	174
K ₂₄	180	180	180	180	180	180

Таблица 8. Упорядочивание объектов по близости к «идеалу»

Комбинация	Сумма $p(N_n)$					
	$p(N_1)$	$p(N_2)$	$p(N_3)$	$p(N_4)$	$p(N_5)$	$p(N_6)$
K ₅	8	8	8	8	8	8
K ₆	8	8	8	8	8	8
K ₈	8	8	8	8	8	8
K ₃	16	49	46	43	46	16
K ₁	22	64	64	64	64	31
K ₇	26	44	44	47	44	52
K ₄	30	48	51	60	60	56
K ₉	35	68	68	68	68	64
K ₁₃	51	35	35	34	34	41
K ₁₄	51	35	35	34	34	41
K ₁₆	51	35	35	34	34	41
K ₂₆	51	35	35	34	34	41
K ₂₇	51	35	35	34	34	41
K ₂₉	51	35	35	34	34	41
K ₃₆	51	35	35	34	34	41
K ₃₈	51	35	35	34	34	41
K ₄₁	51	35	35	34	34	41

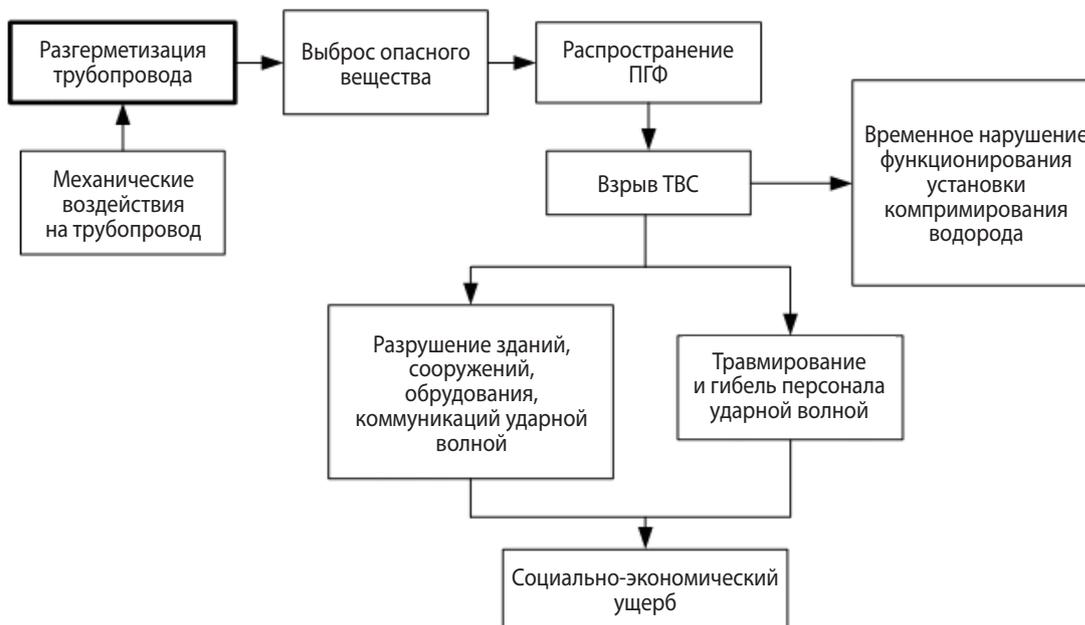


Рис. 4. Сценарий развития приоритетной аварийной ситуации

т. е. развитие аварии на участке трубопровода после дожимного компрессора К-2/А.В. Таким образом, анализ причин наступления аварийных ситуаций предполагает следующий сценарий развития аварии (рис. 4).

Наиболее трудно формализуемой задачей при категорировании и паспортизации объекта ТЭК

является определение способа воздействия нарушителя на технологические процессы, реализуя угрозу технического воздействия. Предложенный алгоритм метода определения приоритетных сценариев развития аварийной ситуации решает эту задачу, поскольку объективно учитывает всю совокупность значений критериев определения

приоритета относительно выбранных уязвимых мест в технологической схеме.

Применение данной системы позволит более детально исследовать уязвимые места опасных объектов как при работе по категорированию, так и при других работах, связанных с обеспечением безопасности объектов ТЭК. Полученные результаты исследования в части анализа уязвимости технологического процесса позволят специалистам по безопасности разработать комплекс мер, направленных на улучшение системы технологической безопасности.

Список литературы

1. Федеральный закон от 21.07.2011 г. № 256-ФЗ «О безопасности объектов топливно-энергетического комплекса» (ред. от 06.07.2016 г.).
2. Паспортизация объектов ТЭК. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.jsc-amulet.ru/index.php?](http://www.jsc-amulet.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=2&Itemid=116)

[option=com_content&view=article&id=2&Itemid=116](http://www.jsc-amulet.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=2&Itemid=116) (дата обращения 1 ноября 2018 года).

3. Категорирование и разработка паспортов безопасности объектов ТЭК. [Электронный ресурс]. URL: <http://security-ipktek.ru/> (дата обращения 1 ноября 2018 года).

4. СТ ЦКБА 008–2014. Арматура трубопроводная. Расчет надежности и безопасности на этапе проектирования (ред. от 01.01.2018 г.).

5. Исходное событие. Термины МЧС России. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mchs.gov.ru/dop/terms/item/87827/> (дата обращения 11 ноября 2018 г.).

6. РД 03-496–02. Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах (ред. от 01.01.2004 г.).

7. РД 03-409–01. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей.

8. *Бешелев С. Д., Гурвич Р. Г.* Математико-статистические методы экспертных оценок. М. : Статистика, 1980. 263 с.

9. *Тэрано Т., Асаи К., Сугэно М.* Прикладные нечеткие системы. М. : Мир, 1993. 368 с.

Статья поступила в редакцию 11.04.2019 г.

После доработки 11.04.2019 г.

Принята к публикации 06.05.2019 г.

AN ALGORITHM FOR THE PRIORITY SCENARIO DETERMINATION OF AN EMERGENCY SITUATION DEVELOPMENT

© T. A. Gubina, PhD A. S. Mosolov, ScD N. I. Akinin

The article proposes an algorithm for the priority scenario determination of an emergency situation development based on the result of an unlawful interference act, including a terrorist attack performed by an internal violator, through the technical impact threats realisation on the object's critical elements. The criteria that determine the priority of the scenario are selected and their values are calculated. The priority choice is based on the multicriteria optimization – the method of «displaced ideality». The fuel and energy companies will be able to substantiate conclusions about the categorisation of potential danger based on an act of unlawful interference and to develop compensatory measures for the security system on the basis of the developed algorithm.

Keywords: priority scenario; emergency situation; security; integrated safety and security of the fuel-and-energy companies; a terrorist attack; the technical impact threat; an internal violator; fault tree analysis; event tree analysis.