

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ОПАСНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ УСТАНОВОК НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Давыдова Е.В.

Предложен метод оценки опасности оборудования установок нефтеперерабатывающих предприятий на основе комплексного анализа количественных характеристик аварий, основой которого является детализированный интегральный параметр потенциальной опасности.

Основными опасностями, характерными для нефтеперерабатывающих предприятий, являются пожары, взрывы и токсическое заражение, но в большинстве случаев решение задач по повышению безопасности таких предприятий основывается лишь на рассмотрении взрывоопасности оборудования.

Поскольку действующие методики расчета последствий аварий во многом не согласованы и не позволяют однозначно судить об опасности опасных производственных объектов (ОПО), то наиболее перспективным, с точки зрения комплексной оценки, является интегральный параметр опасности [1]. Хотя данный параметр учитывает поражающие факторы различные по физической природе, возникающие на разных стадиях развития аварий и весовые значения этих факторов с учетом компетентности специалистов, основными его недостатками являются разная размерность факторов, его составляющих, невозможность определения по его значениям степени опасности оборудования и отсутствие критических значений данного параметра.

Придать интегральному параметру потенциальной опасности значимость, определить его границы и в итоге реально оценить индивидуальную опасность оборудования нефтегазоперерабатывающего предприятия, используя существующую нормативно-методическую базу, позволит предложенная в виде алгоритма методика определения интегрального параметра потенциальной опасности, представленная на рисунке 1.

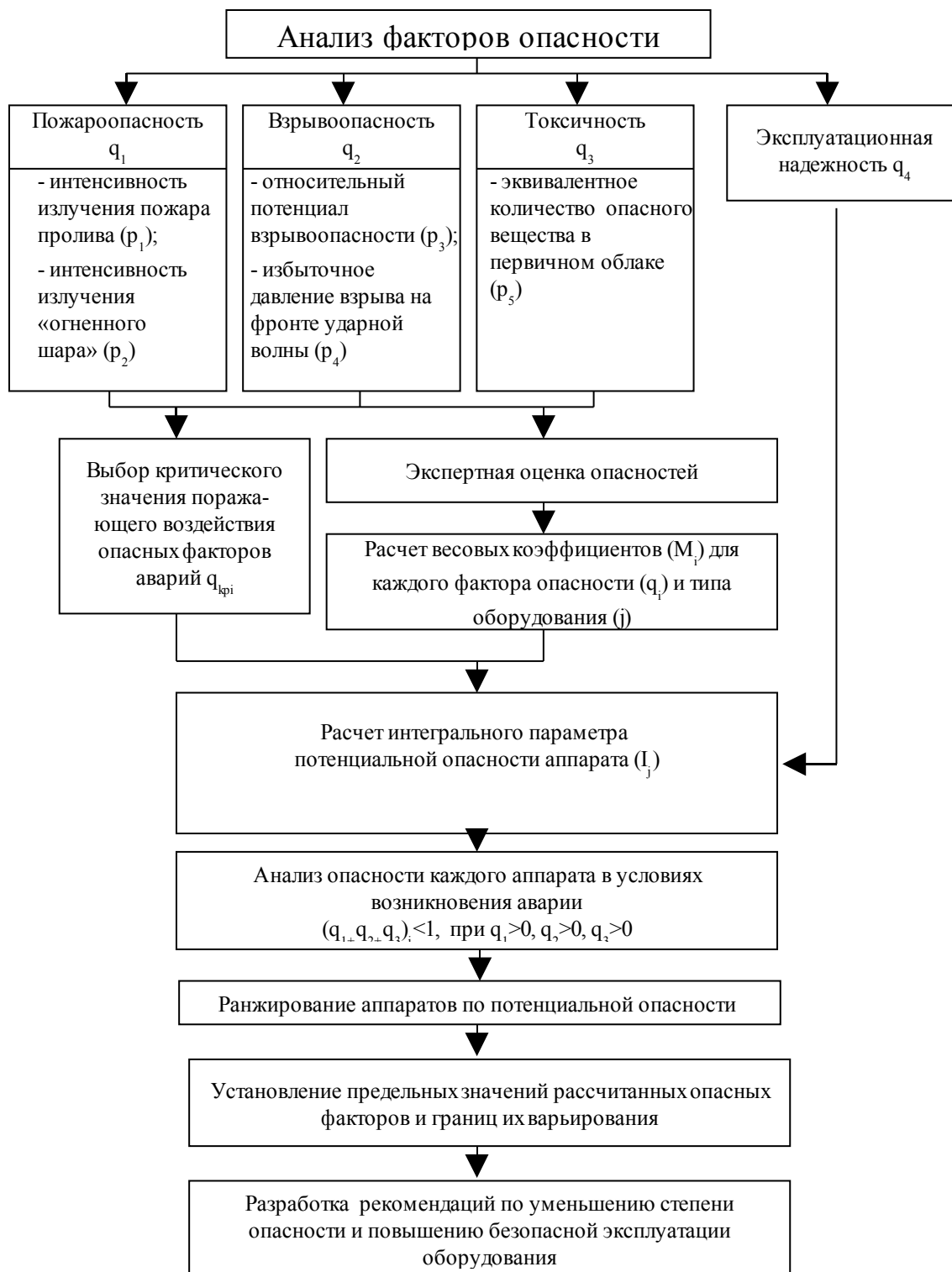


Рисунок 1. Алгоритм определения интегрального параметра потенциальной опасности

В качестве поражающих факторов, входящих в состав интегрального параметра согласно [2,3,4,5] выбраны следующие:

- воздушная ударная волна, возникающая при разного рода взрывах (взрывоопасность);
- тепловое излучение пожара пролива и «огненного шара» при окислительных процессах различных веществ (пожароопасность);
- действие токсических веществ, участвующих в технологическом процессе (токсическая опасность).

В качестве критических значений рассматриваемых поражающих факторов для приведения интегрального параметра к безразмерной величине были использованы данные работы [6], что позволило оценивать и сравнивать любые виды опасности и определять границы ее допустимого значения.

В качестве объектов исследования по моделированию аварийных ситуаций было выбрано оборудование типовой наружной абсорбционной газофракционирующей установки (АГФУ) газокаталитического производства нефтеперерабатывающих предприятий.

Возникновение опасности на АГФУ возможно вследствие высокой плотности размещения технологического оборудования, наличием большого количества воспламеняющихся веществ, а также присутствием источников воспламенения (открытый огонь печей). План расположения оборудования АГФУ представлен на рисунке 2.

С учетом рабочих параметров оборудования рассматриваемой установки рассчитаны параметры поражающих факторов, образование которых возможно при авариях на объектах такого типа. В таблице 1 представлены значения данных расчетов. Индексы аппаратов указаны согласно существующей технологической схеме (Т – теплообменное оборудование, Е – емкостное оборудование, К – оборудование колонного типа, П – печное оборудование).

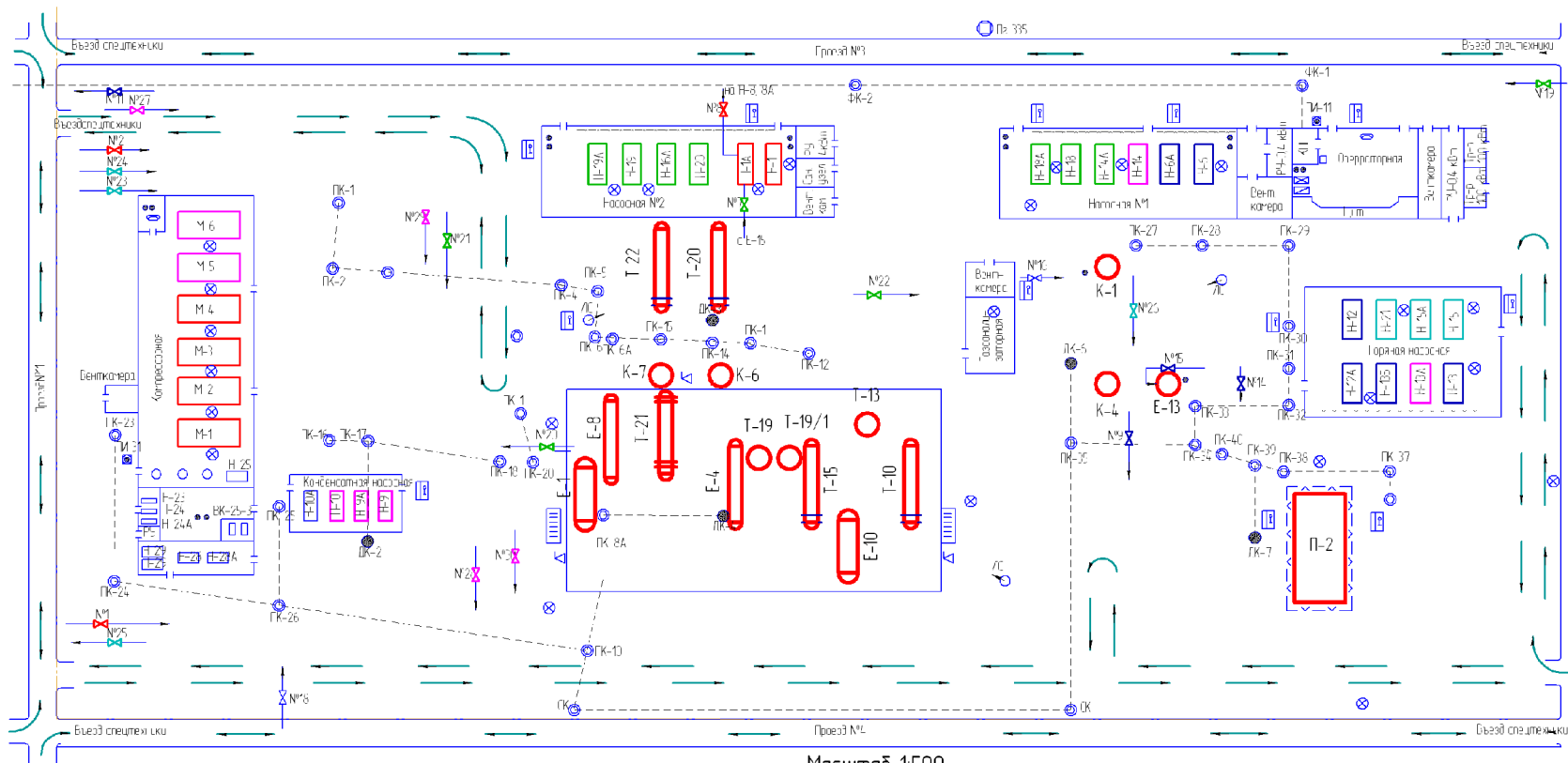


Рисунок 2. Типовой план расположения оборудования АГФУ

Таблица 1

Значения основных поражающих факторов при авариях на АГФУ

| Индекс аппарата | Интенсивность теплового излучения пожара пролива, q , кВт/м ² | Интенсивность теплового излучения «огненного шара», q , кВт/м ² | Общий энергопотенциал взрывоопасности, кДж | Относительный энергопотенциал взрывоопасности | Безразмерное давление, P_x | Эквивалентное количество вещества по первичному облаку, $Q_{Э1}$, т |
|-----------------|--|--|--|---|------------------------------|--|
| Е-8 | 2,44 | 109,82 | 4,377E+06 | 9,89 | 11565,21 | 1354,32 |
| Т-15 | 0,92 | 102,96 | 5,85E+08 | 50,58 | 5919,45 | 6466,29 |
| Т-19/1 | 7,43 | 81,18 | 2,669E+06 | 8,39 | 2809,11 | 9,26 |
| Т-19 | 7,43 | 70,39 | 1,101E+06 | 6,24 | 2277,40 | 1,67 |
| Т-21 | 2,90 | 33,76 | 1,101E+06 | 6,24 | 1246,57 | 0,13 |
| Т-20 | 1,79 | 103,62 | 1,49E+08 | 32,06 | 6139,09 | 129,27 |
| Т-22 | 1,79 | 103,62 | 1,49E+08 | 32,06 | 6139,09 | 6,38 |
| Е-1 | 0,85 | 101,89 | 1,363E+07 | 14,45 | 5588,60 | 21,19 |
| Е-4 | 0,60 | 87,57 | 5,623E+07 | 23,17 | 3423,05 | 4,60 |
| Е-10 | 0,68 | 10,84 | 1,8E+08 | 34,15 | 718,76 | 3,74 |
| Е-13 | 2,54 | 16,34 | 1,8E+08 | 34,15 | 1282,02 | 2,29 |
| К-1 | 0,77 | 88,41 | 1,49E+08 | 32,06 | 3511,18 | 6,78 |
| К-4 | 3,29 | 108,87 | 13,6E+08 | 67,01 | 9890,73 | 134,64 |
| К-6 | 3,92 | 108,74 | 2,04E+08 | 35,6 | 9700,32 | 1732,80 |
| К-7 | 3,92 | 108,31 | 4,14E+08 | 45,08 | 9161,80 | 16,12 |
| П-2 | 0,08 | 3,00 | 7,69E+08 | 55,41 | 446,81 | 0,37 |
| Т-10 | 0,09 | 57,81 | 8,13E+08 | 56,45 | 1972,43 | 7,56 |
| Т-13 | 0,27 | 1,01 | 5,72E+06 | 10,82 | 767,50 | 0,88 |

Каждый фактор опасности, составляющий интегральный параметр, оценивается экспертным путем, согласно исследованиям, проводимым в работах [1,7]. Для всех аппаратов АГФУ рассчитываются интегральные параметры потенциальной опасности, значения которых представлены в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что значения интегрального параметра потенциальной опасности для аппаратов одной установки изменяются от 0,10 (минимальное значение – для холодильника тощего абсорбента Т-13) до 0,77 (максимальное значение – для десорбера К-4). Таким образом, оценив потенциальную опасность оборудования АГФУ с помощью интегрального параметра можно сказать, что наиболее опасным является колонное оборудование.

Таблица 2

Интегральные параметры опасности аппаратов АГФУ

| Индекс аппарата установки | Интегральный параметр |
|---------------------------|-----------------------|
| Е-8 | 0,43 |
| Т-15 | 0,56 |
| Т-19/1 | 0,37 |
| Т-19 | 0,33 |
| Т-21 | 0,17 |
| Т-20 | 0,49 |
| Т-22 | 0,48 |
| Е-1 | 0,39 |
| Е-4 | 0,38 |
| Е-10 | 0,22 |
| Е-13 | 0,27 |
| К-1 | 0,43 |
| К-4 | 0,77 |
| К-6 | 0,57 |
| К-7 | 0,64 |
| П-2 | 0,27 |
| Т-10 | 0,55 |
| Т-13 | 0,10 |

Для оценки степени опасности для человека и окружающей среды каждого конкретного аппарата с соответствующим ему значением интегрального параметра необходимо определить границы опасности. За границы опасности берется значение интегрального параметра равное единице. Графически это можно отобразить в виде плоскости в отрезках (рисунок 3), представленной уравнением критической плоскости $q_1+q_2+q_3=1$, которая будет ограничивать объем значений интегрального параметра от 0 до 1, где q_1 , q_2 , q_3 - факторы пожароопасности, взрывоопасности и токсической опасности соответственно, при условии, что $q_1>0$, $q_2>0$, $q_3>0$.

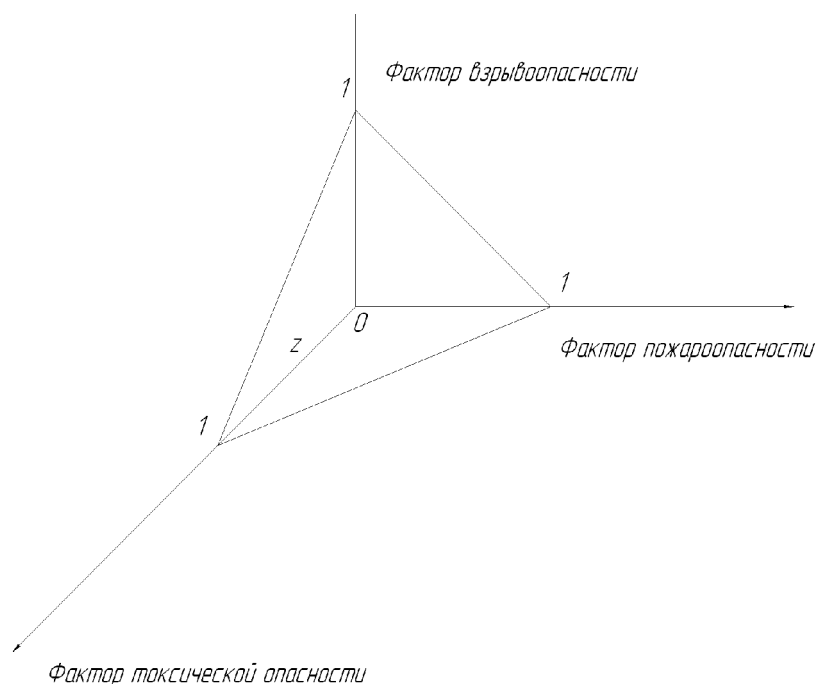


Рисунок 3. Графическое представление предельного значения устойчивости оборудования

Представленный в виде пространственной диаграммы интегральный параметр потенциальной опасности позволяет ранжировать оборудование технологической установки по степени его опасности. Основываясь на уравнении, описывающем критическую плоскость, и нормативно обоснованных значениях поражающих факторов [2, 3, 4, 5] в таблице 3, в которой рассчитанный для аппаратов АГФУ интегральный параметр потенциальной опасности расположен по убыванию его значений, выделим четыре области опасности.

На рисунке 4 для наглядности области опасности показаны двумерной диаграммой, частично описывающей интегральный параметр потенциальной опасности. Так, значение интегрального параметра от 0 до 0,33 характеризует область низкой опасности, от 0,33 до 0,50 – приемлемой опасности, 0,50-0,70 – область высокой опасности, а значения от 0,70 до 1,00 – область предельной опасности.

Таблица 3

Интегральный параметр аппаратов АГФУ по убыванию значений

| Аппараты АГФУ | Интегральный параметр |
|--|-----------------------|
| К-4 (десорбер для извлечения из деэтанализованного абсорбента пропан-пропиленовой и бутан-бутиленовой фракции) | 0,77 |
| К-7 бутановая колонна) | 0,64 |
| К-6 (пропановая колонна) | 0,58 |
| Т-15 (подогреватель сырья) | 0,56 |
| Т-10 (подогреватель сырья) | 0,55 |
| Т-20 (подогреватель сырья) | 0,49 |
| Т-22 (подогреватель сырья) | 0,49 |
| К-1 (абсорбер для извлечения газа пропан-пропиленовой, бутан-бутиленовой фракции) | 0,43 |
| Е-8 (приемник рефлюкса) | 0,43 |
| Е-1 (отбойник конденсата) | 0,39 |
| Е-4 (емкость тощего абсорбента) | 0,38 |
| Т-19/1 (холодильник жирного газа) | 0,37 |
| Т-19 (холодильник пропановой колонны) | 0,33 |
| Е-13 (емкость орошения бутановой колонны) | 0,27 |
| П-2 (печь горячей струи) | 0,27 |
| Е-10 (емкость орошения пропановой колонны) | 0,22 |
| Т-21 (подогреватель сырья) | 0,17 |
| Т-13 (подогреватель сырья) | 0,10 |

Из таблицы 3 в соответствии с предложенной классификацией, видно, что в область низкой опасности попадают аппараты Т-13 (подогреватель сырья), Т-21 (подогреватель сырья) и Е-10 (емкость орошения пропановой колонны), а наиболее опасным оказался десорбер для извлечения пропан-пропиленовой и бутан-бутиленовой фракции, К-4, который находится в области предельной опасности. Подобное распределение аппаратов по областям вполне обосновано и определяется физико-химическими свойствами веществ, участвующих в процессах переработки углеводородов, их количеством, технологическими параметрами процессов, возможностью образования неконтролируемых реакций, способных привести к взрывам, возгораниям.

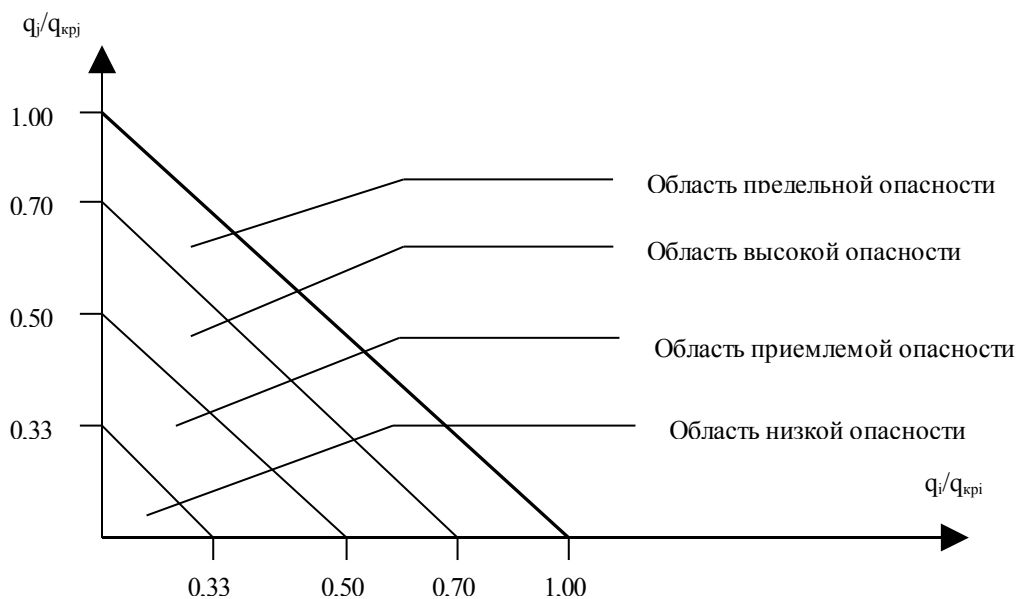


Рисунок 4. Области опасности

Так, количественно разграничив области опасности, получаем классификацию оборудования, которая позволяет оценивать опасность объекта по значению его интегрального параметра, что в последующем позволит оперировать опасностью на различных стадиях его жизненного цикла. Это ранжирование также может быть использовано при совершенствовании системы диагностирования и оценки текущего состояния оборудования установок нефтегазопереработки.

Представленный в виде пространственной диаграммы интегральный параметр потенциальной опасности может быть использован для определения границ варьирования значений факторов опасности. Наглядно это можно представить на рисунке 5, в качестве примера возьмем гипотетический аппарат с интегральным параметром 0,95, факторы опасности составляющие его равны 0,44; 0,31 и 0,20. Рассматриваемый аппарат попадает в область предельной опасности; наиболее весомым с точки зрения опасности является его пожароопасность.

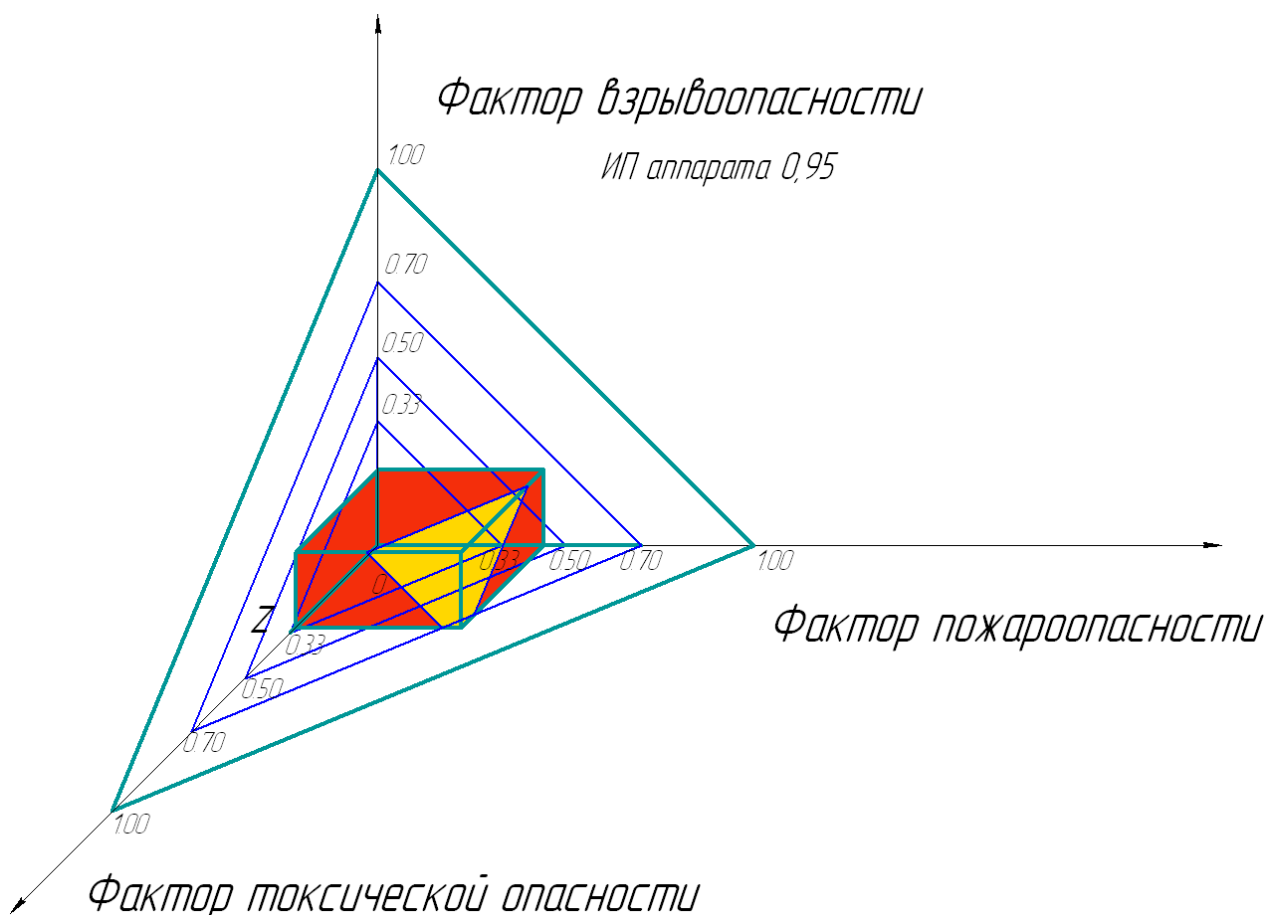


Рисунок 5. Графическое представление потенциальной опасности аппарата в пространстве

Данная графическая интерпретация с разложением факторов, составляющих интегральный параметр опасности, позволяет создать наглядный инструмент для изменения их границ с целью уменьшения риска возникновения аварийной ситуации на ОПО.

Согласно [5], критерием, по которому максимально рассредоточиваются аппараты на нефтеперерабатывающих предприятиях, являются наибольшие значения их энергетических потенциалов. Энергетический потенциал взрывоопасности характеризует детонационный взрыв, реализация которого для объектов этой отрасли несвойственна. Используя расчетные данные по составлению интегральных параметров потенциальной опасности аппаратов АГФУ, можно визуальнo представить не только зоны полных разрушений, но и ситуационные планы таких поражающих воздействий аварий, как пожар пролива, «огненный шар», токсическое поражение и дефлаграционный взрыв. На рисунках

6-10 представлены зоны опасности оборудования АГФУ с указанием интегрального параметра опасности и места расположения оборудования, а также его индекса согласно технологической схеме.

Как видно из рисунков 6-10 большинство аппаратов попадают в зоны поражающего воздействия соседних аппаратов при реализации любого из рассмотренной сценариев аварий.

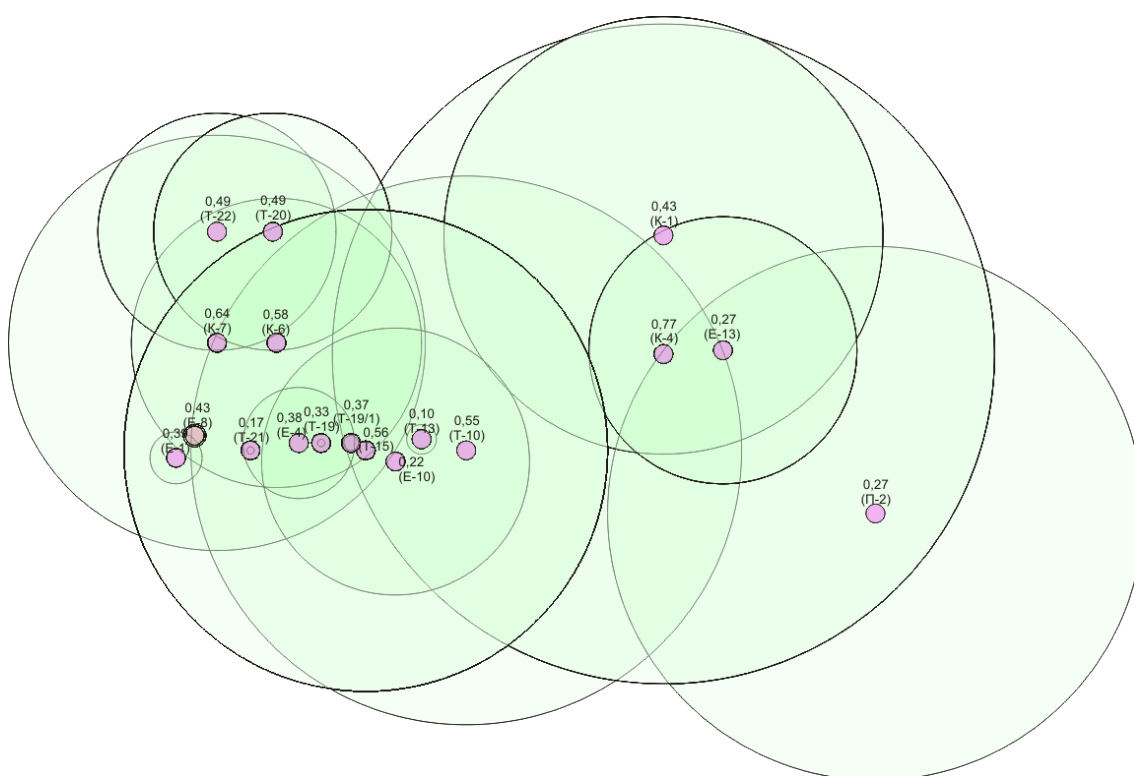


Рисунок 6. Зоны опасности оборудования АГФУ при реализации детонационного взрыва

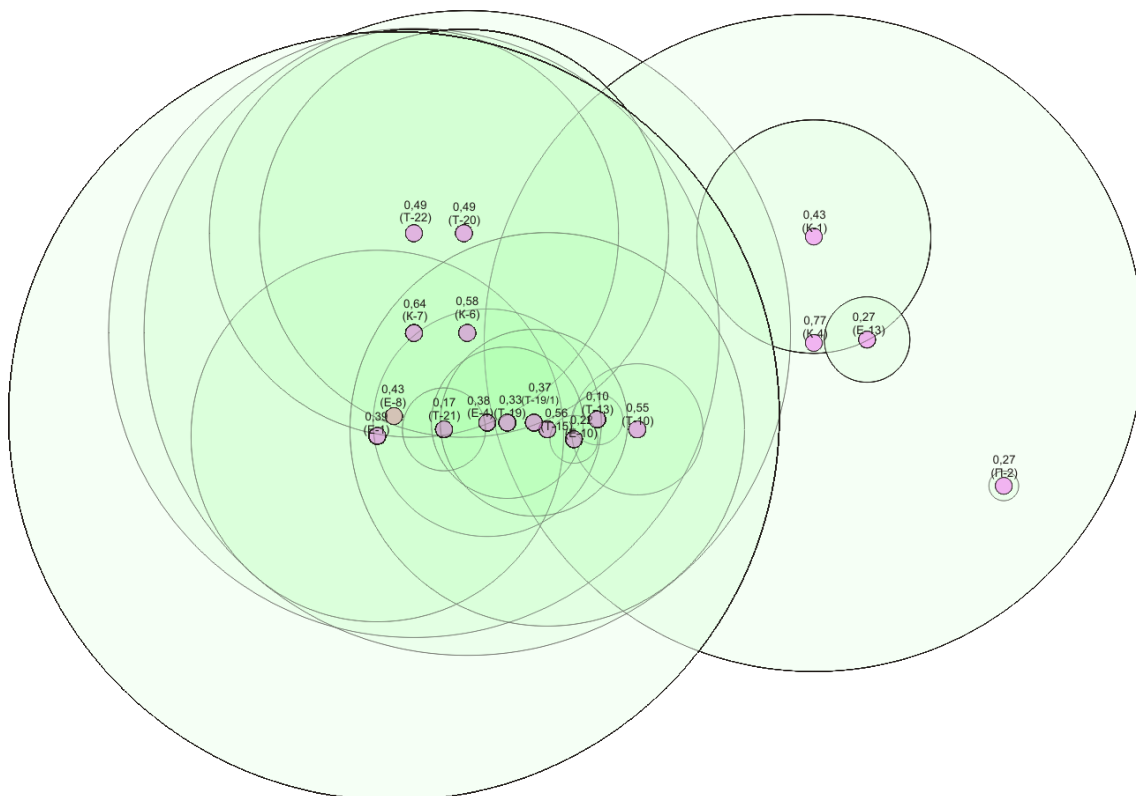


Рисунок 7. Зоны опасности оборудования АГФУ при реализации дефлаграционного взрыва

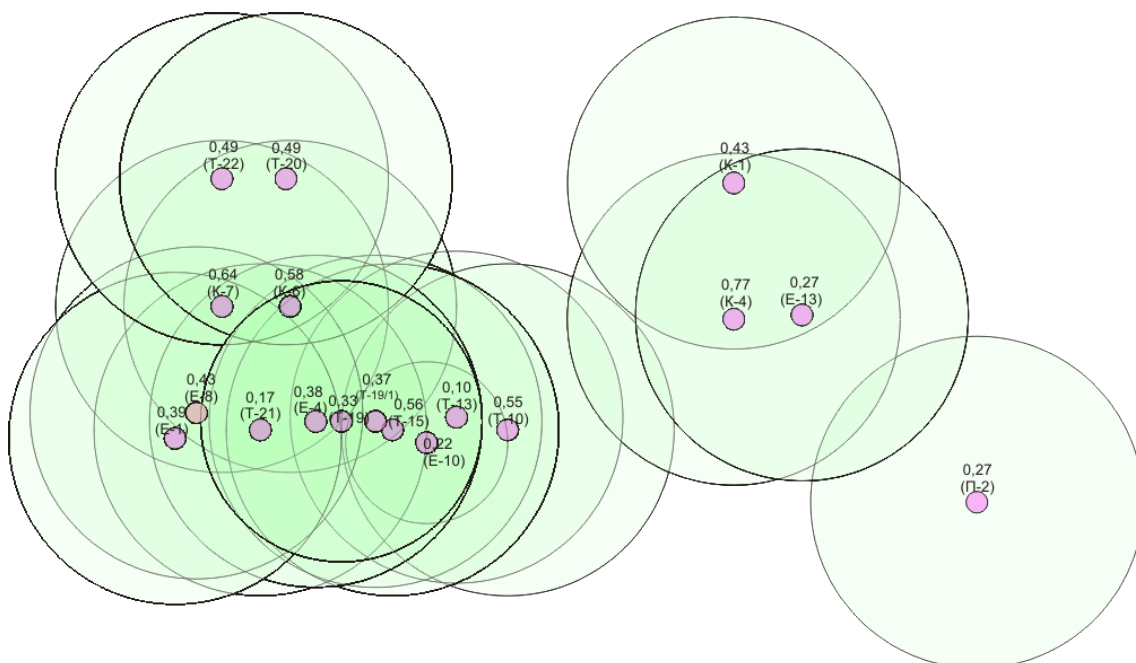


Рисунок 8. Зоны опасности оборудования АГФУ при реализации токсического заражения

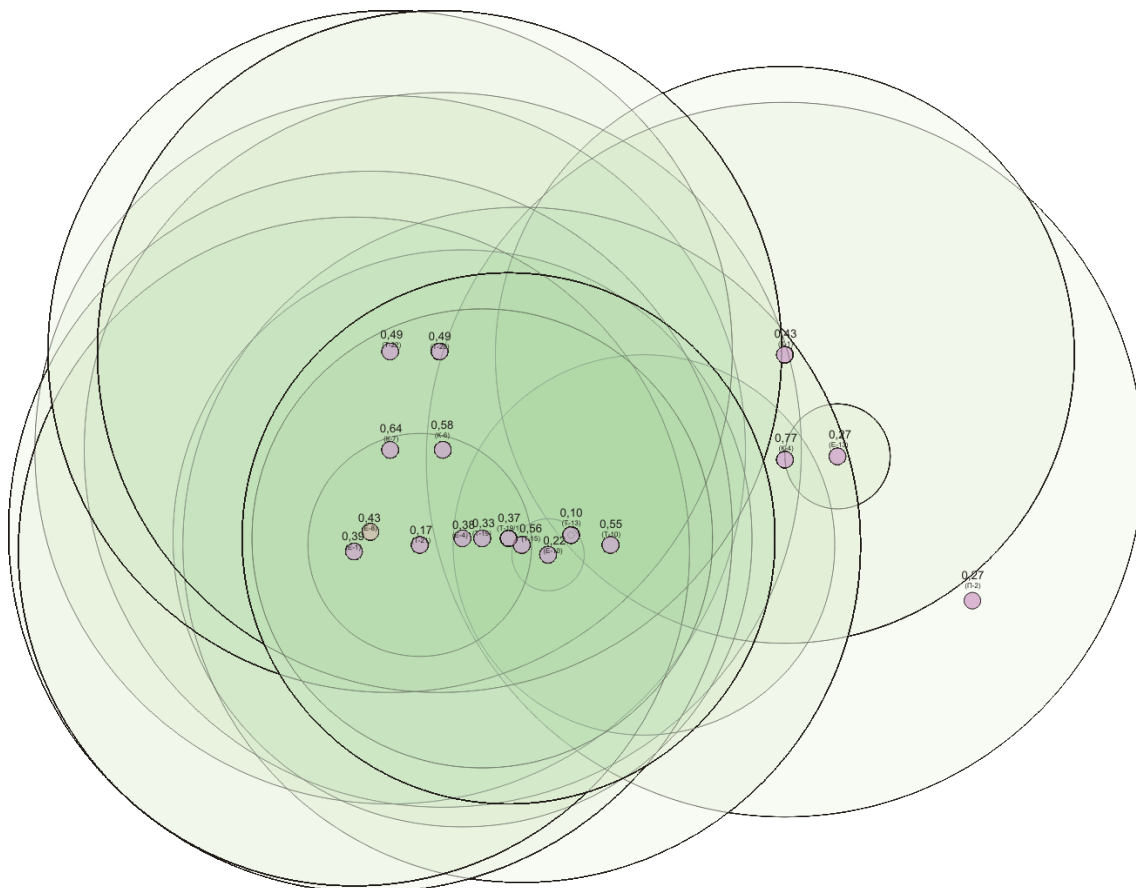


Рисунок 9. Зоны опасности оборудования АГФУ при реализации «огненного шара»

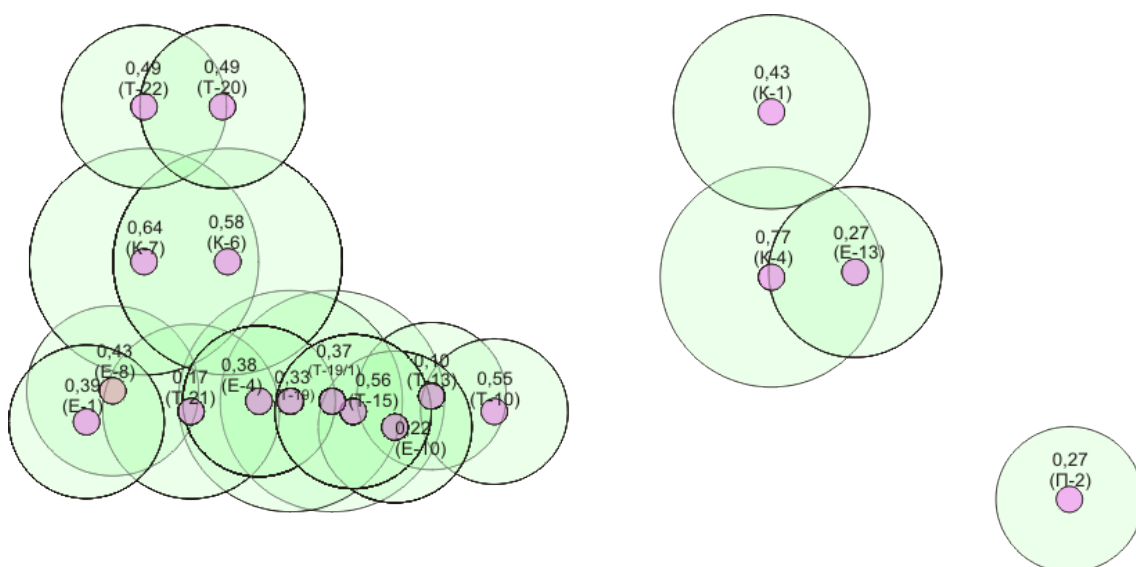


Рисунок 10. Зоны опасности оборудования АГФУ при реализации пожара пролива

Таблица 4

Интегральный и обобщающий параметр потенциальной опасности оборудования АГФУ

| Аппараты АГФУ | Интегральный параметр | Сумма интегральных параметров аппаратов, попадающих в зону опасности | | | | | Обобщающий интегральный параметр |
|---------------|-----------------------|--|---------------|-----------------------|---------------------|------------------|----------------------------------|
| | | Токсическое воздействие | Пожар пролива | Дефлаграционной взрыв | Детонационный взрыв | «Огненному шару» | |
| К-4 | 0,77 | 0,70 | 0,27 | 3,1 | 2,77 | 5,00 | 11,84 |
| К-7 | 0,64 | 1,95 | 0,58 | 5,7 | 4,19 | 5,70 | 18,12 |
| К-6 | 0,58 | 2,34 | 0,64 | 5,7 | 3,3 | 6,9 | 18,88 |
| Т-15 | 0,56 | 2,7 | 1,02 | 4,5 | 4,65 | 7,17 | 20,04 |
| Т-10 | 0,55 | 1,25 | 0,1 | 0,32 | 5,37 | 2,13 | 9,17 |
| Т-20 | 0,49 | 1,71 | 0,49 | 3,39 | 1,07 | 5,70 | 12,36 |
| Т-22 | 0,49 | 1,71 | 0,49 | 1,82 | 1,13 | 5,70 | 10,85 |
| К-1 | 0,43 | 1,04 | - | 0,77 | 1,04 | 1,69 | 4,54 |
| Е-8 | 0,43 | 1,91 | 0,39 | 6,03 | - | 5,70 | 14,03 |
| Е-1 | 0,39 | 1,95 | 0,43 | 3,85 | - | 5,70 | 11,93 |
| Е-4 | 0,38 | 2,57 | 0,87 | - | 0,87 | 5,70 | 10,01 |
| Т-19/1 | 0,37 | 2,31 | 1,59 | 1,76 | - | 5,70 | 11,36 |
| Т-19 | 0,33 | 1,70 | 1,62 | 1,33 | - | 5,70 | 10,35 |
| Е-13 | 0,27 | 1,20 | 0,77 | - | 1,20 | 0,77 | 3,94 |
| П-2 | 0,27 | - | - | - | 1,04 | - | 1,04 |
| Е-10 | 0,22 | 1,58 | 1,03 | - | 2,29 | 0,66 | 5,56 |
| Т-21 | 0,17 | 3,90 | 0,38 | - | - | 3,68 | 7,96 |
| Т-13 | 0,10 | 2,41 | 0,77 | - | - | - | 3,18 |

Данный факт позволяет, установив количество оборудования, попадающего в зоны поражающего воздействия при возникновении различного рода аварий для каждого аппарата и подсчитав их суммарный интегральный параметр потенциальной опасности, рассчитать обобщающий интегральный параметр аппарата, значение которого будет отражать опасность оборудования по степени его влияния на дальнейшее развитие аварийной ситуации (таблица 4).

Анализ данных таблицы 4 позволяет судить о том, что один и тот же аппарат установки может обладать различного рода опасностью, так, колонна К-4, имеющая наибольший индивидуальный интегральный параметр потенциальной опасности, обладает обобщающим интегральным параметром среднего значения, а подогреватель сырья Т-15 с индивидуальным интегральным параметром области высокой опасности 0,56 максимально опасен с точки зрения влияния на продолжительность аварии и усугубления ее последствий. Расчет обобщающего интегрального параметра также отображает зависимость его значения от

размещения технологического оборудования на территории установки – аппараты Т-10, К-1, Е-13 отдалены от основного сосредоточения оборудования АГФУ, что сказывается на значении их обобщающего интегрального параметра, хотя их потенциальная опасность велика.

Использование предложенной в работе оценки потенциальной опасности технологического оборудования позволит заблаговременно снизить риск возникновения аварий уже на стадии его проектирования, а также разработать комплекс мероприятий по снижению потенциальной опасности на любом этапе его жизненного цикла.

Литература

1. Вахапова Г.М. Оценка потенциальной опасности объектов технологических установок по интегральному параметру при прогнозировании аварийных ситуаций. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук – Уфа, УГНТУ, 2002. – 118 с.

2. ГОСТ 12.3.047-98. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. – введ. 01.01.2001. – М., 2001. – 92 с.

3. РД 52.04.253-90 Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте.

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

5. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств (ПБ 09-540-03) / Колл. авт.- М.: ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2003.-125с.

6. 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: Саратов. гос. ун-т, 2000. – 124 с.

7. Чиркова А.Г. Опасный производственный объект технологической системы: методы определения опасности и оценки технического состояния. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2004. – 133 с.