

Е.М. Ковалев, А.Г. Чиркова, Р.Р. Тляшева, И.З. Мухаметзянов

ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ КАК СПОСОБ СНИЖЕНИЯ ОПАСНОСТИ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Посвящена проблеме размещения оборудования на технологической площадке опасных производственных объектов (ОПО). Показано, что в случае аварии на ОПО, при существующем подходе к размещению оборудования, не исключается развитие эффекта «домино» и соседнее оборудование вовлекается в развитие аварийной ситуации. Сформулирована и решена задача оптимизации безопасного расположения технологического оборудования с учетом технологических связей, показателей опасности и устойчивости к воздействию поражающих факторов. При таком расположении исключается воздействие поражающих факторов критической величины на соседнее оборудование в случае возникновения аварийной ситуации и таким образом предотвращается возникновение эффекта «домино».

Авариям на нефтеперерабатывающих предприятиях характерны большие объемы выброса взрывопожароопасных веществ, образующие облака топливно-воздушные смеси, разливы нефтепродуктов и, как следствие, – пожары, взрывы, разрушение соседних аппаратов и целых установок.

Основным документом по противопожарному проектированию в нефтеперерабатывающей промышленности является ВУПП-88 [1], ВНТП 81-85 [2] и ПБ 09-540-03 [3]. По взаимному расположению аппаратов на территории технологической площадки в них приведены лишь указания по общим принципам размещения, без учета возможных аварийных ситуаций и их развития на территории установки и предприятия.

В соответствии с ПБ 09-540-03 установки нефтеперерабатывающих предприятий должны разбиваться на технологические блоки. Технологический блок – это аппарат или группа (с минимальным числом) аппаратов, которые в заданное время могут быть отключены (изолированы) от технологической системы (выведе-

ны из технологической схемы) без опасных изменений режима, приводящих к развитию аварии в смежной аппаратуре или системе.

При существующих принципах размещения технологического оборудования, когда однотипные аппараты объединяются в блоки (блок теплообменников, блок электродегидраторов, блок колон), разбиение на технологические блоки, согласно ПБ 09-540-03, не имеет смысла, потому что оборудование соседних технологических блоков оказывается в зоне воздействия поражающих факторов некоторой критической величины, при которой происходит его разгерметизация и возникает «эффект домино» [4].

Необходим такой подход к размещению технологического оборудования, при котором исключается воздействие поражающих факторов критической величины на соседнее оборудование в случае возникновения аварийной ситуации. Под критической величиной поражающих факторов понимается такой уровень воздействия на аппарат, при котором возможна его

Остаточный ресурс нефтегазового оборудования

разгерметизация, что является условием для возникновения эффекта «домино» [5].

Одним из мероприятий по снижению опасности установки является расположение оборудования таким образом, чтобы соседнее оборудование не находилось в зоне критических разрушений и тем более не в области наложения этих зон.

Алгоритм методики оптимизации расположения оборудования технологических установок приведен на рисунке 1.

Энергетический потенциал взрывоопасности i -го аппарата E_i (кДж) определяется согласно ПБ 09-540-03, который

определяется полной энергией сгорания парогазовой фазы, находящейся в блоке, с учетом величины работы ее адиабатического расширения, а также величины энергии полного сгорания испарившейся жидкости с максимально возможной площади ее пролива.

Для оценки уровня воздействия взрыва может применяться тротильный эквивалент W . Тротильный эквивалент взрыва парогазовой среды W (кг), определяемый по условиям адекватности характера и степени разрушения при взрывах парогазовых облаков.

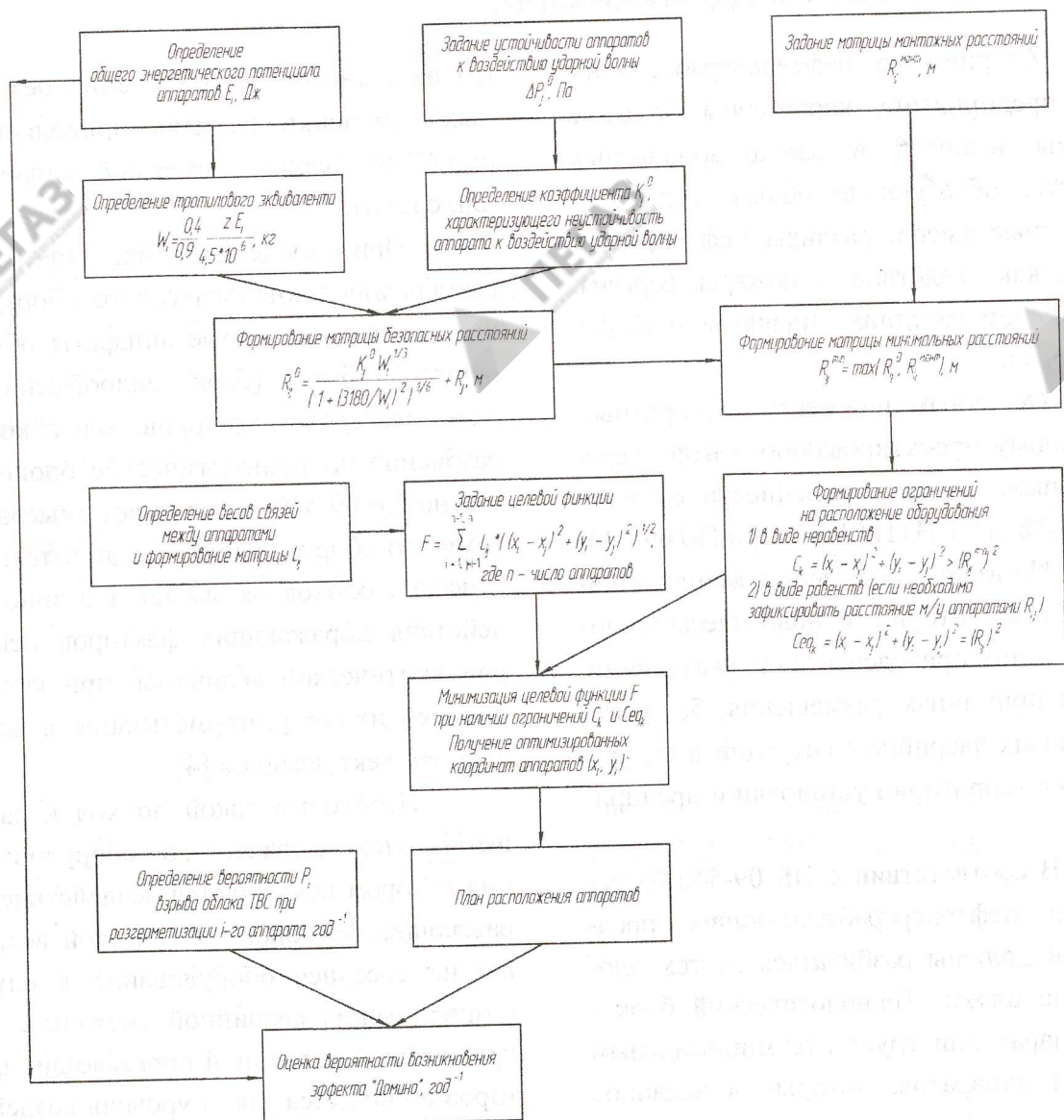


Рисунок 1 - Алгоритм методики оптимизации расположения оборудования технологических установок

Остаточный ресурс нефтегазового оборудования

Зоной разрушения считается площадь с границами, определяемыми радиусами R , центром которой является рассматриваемый технологический блок или наиболее вероятное место разгерметизации технологической системы. Границы каждой зоны характеризуются значениями избыточных давлений по фронту ударной волны ΔP и соответственно безразмерным коэффициентом K . Классификация зон разрушения приведена в *таблице 1*.

Таблица 1 - Классификация зон разрушения

Класс зоны разрушения	K	ΔP , кПа
1 – полное	3,8	≥ 100
2 – сильное	5,6	70
3 – среднее	9,6	28
4 – слабое	28,0	14
5 – расстекление	56,0	$\leq 2,0$

По данным *таблицы 1*, в диапазоне от полных до слабых разрушений определена функциональная связь $K = f(\Delta P)$ (1).

$$K(\Delta P) = \Delta P / (a + b \Delta P - c \Delta P^2), \quad (1)$$

где $a = -1,3277$;
 $b = 0,1103$;
 $c = -0,0014$.

Зависимость $K = f(\Delta P)$ показана на *рисунке 2*.

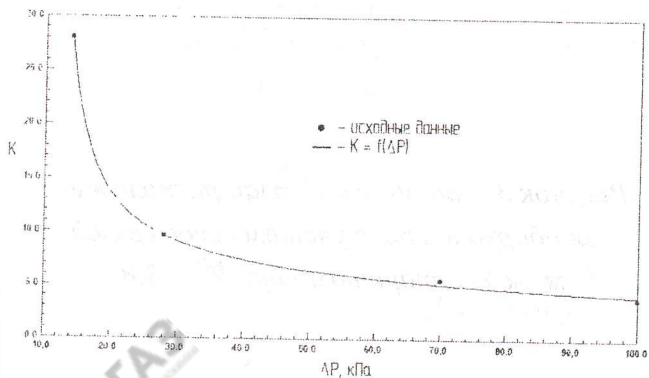


Рисунок 2 - Зависимость $K = f(\Delta P)$

При известных критических значениях ΔP , при котором происходит разрушение аппарата, по формуле (1) определяется величина безразмерного коэффициента K^0 , характеризующего неустойчивость аппарата к воздействию ударной волны.

Безопасные расстояния для всех аппаратов друг от друга R_{ij}^0 определяются по формуле (2):

$$R_{ij}^0 = \max \left\{ \begin{array}{l} K_j^0 \frac{\sqrt[3]{W_i}}{\left[1 + \left(\frac{3180}{W_i} \right)^2 \right]^{1/6}} + r_j; \\ K_i^0 \frac{\sqrt[3]{W_j}}{\left[1 + \left(\frac{3180}{W_j} \right)^2 \right]^{1/6}} + r_i \end{array} \right\}, \quad (2)$$

где $i = 1, n-1$;

$j = i, n$;

r_i, r_j – радиусы проекций на земную поверхность i -го и j -го аппаратов;

$$K_j^0 \frac{\sqrt[3]{W_i}}{\left[1 + \left(\frac{3180}{W_i} \right)^2 \right]^{1/6}} + r_j \text{ - безопасное}$$

расстояние между аппаратами при воздействии i -го аппарата на j -й;

$$K_i^0 \frac{\sqrt[3]{W_j}}{\left[1 + \left(\frac{3180}{W_j} \right)^2 \right]^{1/6}} + r_i \text{ - безопасное}$$

расстояние между аппаратами при воздействии j -го аппарата на i -й.

Монтажное расстояние $R_{ij}^{\text{монт}}$ – это расстояние между аппаратами, необходимое для его монтажа и дальнейшего обслуживания при эксплуатации.

Остаточный ресурс нефтегазового оборудования

В качестве минимальных расстояний R_{ij}^{\min} принимаем наименьшее из R_{ij}^0 и $R_{ij}^{\text{монт}}$.

Под оптимизацией понимается минимизация целевой функции F при наличии ограничений в виде неравенств C_k и равенств Seq_k .

Ограничения в виде неравенств (3) представляют собой условие того, что расстояние между i -м и j -м аппаратами должно быть больше R_{ij}^{\min} :

$$C_k = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} > R_{ij}^{\min}, i = 1, n; j = 1, n; i < j; k = 1, m, \quad (3)$$

где x_i, x_j, y_i, y_j – координаты аппаратов;
 n – число аппаратов;
 m – число неравенств.

Ограничения в виде равенств (4) применяются в том случае, если необходимо зафиксировать расстояние $R_{ij} = \text{const}$ между i -м и j -м аппаратами:

$$Seq_k = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} = R_{ij}, i = 1, n; j = 1, n; i < j; k = 1, s, \quad (4)$$

где s – число равенств.

Целевая функция, необходимая для оптимизации безопасного расположения аппаратов, – это сумма расстояний между всеми аппаратами с учетом весов связей L_{ij} между ними, определяется по формуле (5):

$$F = \sum_{i=1, j=i+1}^{n-1, n} (L_{ij} + \varepsilon) \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}, \quad (5)$$

где ε – вес связи для технологически несвязанных аппаратов;

n – число аппаратов.

Величина ε необходима для более компактного расположения оборудования. Рекомендуется принимать по формуле (6):

$$\varepsilon > \frac{1}{a n}, \quad (6)$$

где a – коэффициент, принимаемый в диапазоне от 1 до 5.

Вес связи L_{ij} в первом приближении можно оценить как число технологических связей между аппаратами. В дальнейшем вес связи L_{ij} , может быть уточнен с учетом категории трубопроводов, их производительности и степени опасности продукта, также возможна экспертная оценка.

По окончании оптимизации получаем значение целевой функции F и значения новых координат аппаратов x_i^*, y_i^* .

На рисунке 3 приведен возможный план расположения оборудования рассматриваемой установки ЭЛОУ-АВТ с учетом веса связей между аппаратами. Коэффициент K^0 принят равным 3,8 для каждого аппарата, т.е. оптимизация расположения будет произведена таким образом, что все аппараты будут находиться вне зон полных разрушений друг от друга.

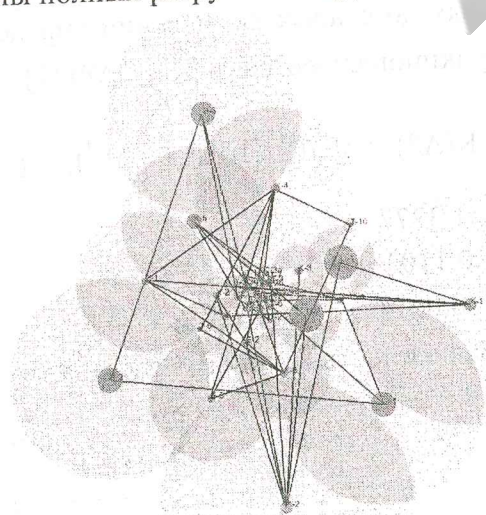


Рисунок 3 – Возможный план расположения оборудования с учетом весов связей между аппаратами при $K^0 = 3,8$

На рисунке 4 приведен возможный план расположения оборудования рассматриваемой установки ЭЛОУ-АВТ, с учетом веса связей между аппаратами и коэффициентом K^0 определенного для каждого аппарата, т.е. оптимизация расположения будет произведена таким образом, что все аппараты будут находиться на расстоянии более или равном R_{\min} .

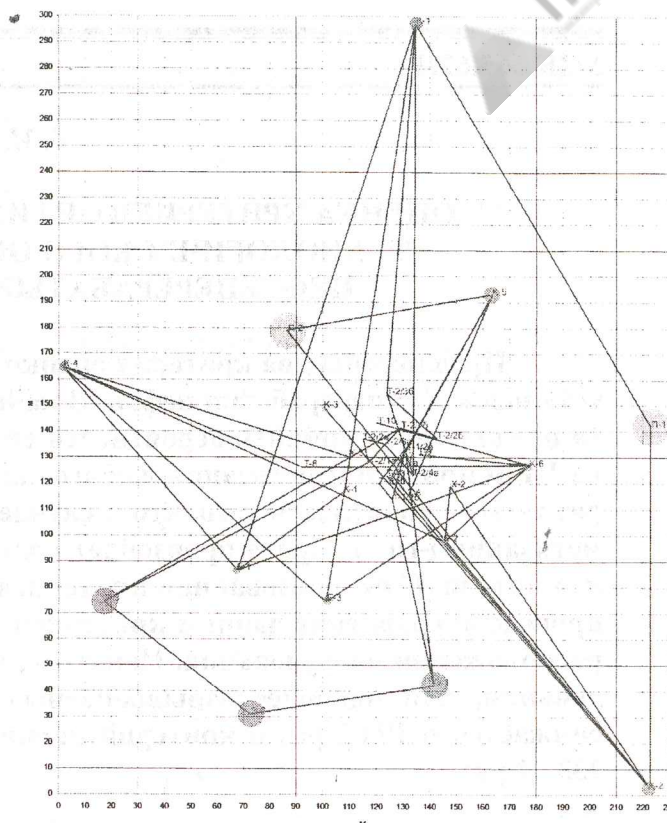


Рисунок 4 - Оптимизированный план расположения оборудования установки ЭЛОУ-АВТ

Список литературы

1. ВУПП-88. Ведомственные указания по противопожарному проектированию предприятий, зданий и сооружений нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности.
2. ВНТП 81-85. Нормы технологического проектирования предприятий по переработке нефти и производству продуктов органического синтеза.
3. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств (ПБ 09-540-03) / Колл. авт. - М.: ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2003.-125с.
4. Ковалев Е.М., Тляшева Р.Р., Чиркова А.Г. Оптимизация расположения оборудования опасных производственных объектов нефтеперерабатывающей промышленности // Мировое сообщество: проблемы и пути решения: сб. науч. ст. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2005.- №18.-С.176-180.
5. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий: учеб. издание / под общ. ред. В.А. Котляревского и А.В. Забегаева. - М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 1998. - Кн.3. - 416 с.

Е.М. Ковалев, аспирант, А.Г. Чиркова, доцент,
Р.Р. Тляшева, доцент, И.З. Мухаметзянов, доцент
Кафедра «Машины и аппараты химических производств»
Уфский государственный нефтяной технический университет