

На правах рукописи

СТОРОЖЕНКО ЮЛИЯ ВИКТОРОВНА

РГБ ОД

- 7 ФЕВ 2000

**ОЦЕНКА ЖИВУЧЕСТИ АППАРАТОВ КОЛОННОГО ТИПА
НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ
ПРИ ДЕЙСТВИИ ВНЕШНЕГО ВЗРЫВА**

Специальность 05.02.21 – "Безопасность особосложных объектов"
(нефтегазовый комплекс)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Уфа 2000

Работа выполнена на кафедре "Машины и аппараты химических производств" Уфимского государственного нефтяного технического университета

Научные руководители: доктор технических наук, профессор
Кузеев И.Р.

кандидат технических наук
Хусниязов М.Х.

Официальные оппоненты доктор технических наук
Павлов С.В.

кандидат технических наук, профессор
Гафаров Р.Х.

Ведущая организация: ГУП "Башгипронефтехим".

Защита диссертации состоится "17" февраля 2000 г. в 16⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета К 063.09.07 в Уфимском государственном нефтяном техническом университете по адресу: 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уфимского государственного нефтяного технического университета.

Автореферат разослан "14" января 2000 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук



М.Х. Хусниязов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы.

Предприятия нефтехимпереработки относятся к опасным производственным объектам, на которых, с одной стороны, перерабатываются, получают и хранятся взрывопожароопасные вещества, а, с другой стороны, используется технологическое оборудование, работающее при высоких температурах и давлениях. В подобной ситуации нарушение требований промышленной безопасности нередко приводит к авариям, связанным с неконтролируемыми взрывами, которые сопровождаются значительными разрушениями, людскими и материальными потерями. Только за последние двадцать лет произошло 150 крупных аварий и прослеживается отчетливая тенденция роста их числа как в силу объективных причин (значительная изношенность оборудования), так и субъективных (человеческий фактор). Для существенного сокращения или устранения негативных последствий взрывов нужны исследования, направленные на объективную оценку взрывных воздействий на промышленные объекты, разработку рекомендаций по проектированию взрывобезопасных сооружений и уменьшению зоны влияния случайных взрывов в процессе нормального функционирования производства. Все эти вопросы, весьма актуальные для взрывоопасных производств, рассматриваются в работе на примере аппаратов колонного типа, применяемых на нефтеперерабатывающих предприятиях.

Цель работы. Оценка живучести аппаратов колонного типа установок нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) при действии воздушной взрывной волны.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели, необходимо решить следующие задачи:

1) собрать и проанализировать статистическую информацию о взрывоопасности технологических установок НПЗ;

2) провести анализ известных методов по оценке воздействия взрыва на промышленные объекты;

3) оценить нагрузки, создаваемые воздушными взрывными волнами на колонные аппараты;

4) выявить влияние параметров взрывной волны на уровень поражения аппаратов колонного типа установок НПЗ.

Научная новизна.

1. Получена зависимость коэффициента динамического усиления нагрузки (K_d), действующей при взрыве на аппараты колонного типа технологических установок НПЗ от параметров взрывной волны (избыточного давления - Δp , импульса - i) и от относительной продолжительности действия нагрузки $\omega\theta$. Для рассмотренных колонных аппаратов величина K_d находится в диапазоне 1,04...4,6 при величине $\omega\theta=0,01...0,66$.

2. Установлена зависимость величины ударной нагрузки, действующей на аппарат колонного типа от параметров конструкции (геометрии, материала, массы). Наименьшие нагрузки возникают в аппаратах постоянного сечения с характерным соотношением диаметра и высоты примерно от 12 и выше, а максимальные – при H/D_n менее 9.

3. Получена кривая поражения аппаратов колонного типа (P - i диаграмма), которая позволяет при сочетании параметров взрывной волны (избыточного давления и импульса) и заданном значении максимального прогиба оценить степень поражения колонного аппарата.

4. Выявлены области значений избыточных давлений (2...28 кПа), при которых максимальный прогиб аппаратов колонного типа от действия взрыва находятся в резонансной области состояния.

Практическая ценность.

Метод определения расчетной ударной нагрузки, предложенный в работе, используется в учебном процессе при чтении лекций и проведении практических занятий по дисциплине "Безопасность эксплуатации оборудования НПЗ" и при выполнении дипломных и курсовых проектов по дисциплине "Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли" при подготовке инженеров по специальности 05.17.01 "Машины и аппараты хи-

мических производств" и бакалавров по направлению 55.18.00 - "Технологические машины и оборудование", а также использован при разработке деклараций безопасности, выполненных на кафедре "МАХП" УГНТУ при участии автора, для предприятий ОАО "Башнефтехим", г. Уфа (АО "Ново-уфимский нефтеперерабатывающий завод", АО "Уфанефтехим", АО "Уфаоргсинтез" и строящейся станции точечного налива светлых нефтепродуктов фирмы "Элин").

Апробация работы.

Основные положения диссертационной работы доложены:

- на II Всероссийской научно-технической конференции "Техническая диагностика, промышленная и экологическая безопасность" (г.Уфа,1996 г.);
- на 47-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (г.Уфа,1996 г.);
- на 48-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (г.Уфа,1997 г.);
- на 50-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (г.Уфа,1999 г.).

Диссертационная работа выполнялась в соответствии с Государственной научно-технической программой Академии наук Республики Башкортостан (АН РБ) "Проблемы машиностроения, конструкционных материалов и технологии" по направлению 6.2 "Надежность и безопасность технических систем в нефтегазовом комплексе" на 1996-2000 годы, утвержденной постановлением Кабинета Министров РБ № 204 от 26.06.96, а также по Федеральной целевой программе "Государственная поддержка интеграции высшего образования и фундаментальной науки на 1997-2000 годы (ФЦП "Интеграция") по государственному контракту № 28 "Создание совместного учебно-научного центра "Механика многофазных систем в технологиях добычи, транспорта, переработки нефти и газа".

Публикации.

По материалам диссертации опубликовано 4 статьи в научно-

технических сборниках и 4 тезиса докладов научно-технических конференций, 1 учебное пособие.

Объем и структура работы.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов, содержит 113 страниц машинописного текста, в том числе 32 рисунка, 3 таблицы, список использованных источников из 103 наименований, 2 приложения.

Основное содержание работы.

В первой главе приведена статистическая информация об опасности взрывных явлений на промышленных предприятиях и показано, что 34 % происходит на открытых технологических площадках, причем здесь создаются более тяжелые последствия от взрывов, чем в закрытых объемах производственных зданий. Аппараты колонного типа используются практически во всех процессах нефтепереработки, имеют значительные геометрические размеры и внутренний объем, а также содержат большие массы взрывопожароопасных углеводородных веществ. Поэтому их разрушение или потеря устойчивости при действии взрыва может вызвать тяжелые последствия и повлечь за собой цепное развитие аварии.

Приведены также краткие характеристики технологических процессов предприятий нефтепереработки и веществ, участвующих в них. Большинство сырьевых, промежуточных и конечных продуктов процессов нефтепереработки относятся к горючим газам или к легковоспламеняющимся жидкостям. Даже при низких концентрациях, они могут образовывать взрывоопасные смеси с воздухом, которые способны взрываться, создавая при этом большое давление на стенки аппаратов, емкостей, строительные конструкции зданий, промышленные сооружения и т.д. Технологические процессы нефтепереработки и нефтехимии в основном осуществляются при высоких температурах и повышенном давлении, что приводит жидкие углеводороды в состояние перегретых жидкостей. Если происходит истечение перегретой жидкости, она быстро испаряется с образованием паров в окру-

жающей среде и формированием взрывоопасных облаков. В случае появления источника воспламенения, облака взрываются с образованием ударных волн большой разрушительной силы. Парогазовые облака в условиях НПЗ могут образовываться двумя различными путями: в результате почти мгновенного выброса при полном разрушении сосуда и при достаточно длительном истечении, когда вещество в течение определенного промежутка времени выбрасывается и испаряется. Характер действия взрыва – резкий удар газов по окружающей среде, вызывающий дробление и сильные деформации предметов на относительно небольших расстояниях от места взрыва.

Взрывы парогазовых смесей могут происходить в замкнутых объемах (внутри промышленных зданий, помещений технологической аппаратуры) и незамкнутом пространстве - на открытых технологических площадках. Степень опасности возникновения взрыва разрушающей силы характеризуется количеством пролитого горючего вещества. При разливе массы горючего вещества, меньшей 2000 кг, но большей 100 кг, разрушающие волны наблюдаются лишь для H_2 и CO , CH_4 , C_2H_4 . Для остальных горючих веществ разрушения при взрыве наблюдаются лишь при утечке энергоносителя в количестве, превышающем 2000 кг.

Вторая глава посвящена анализу воздействия ударной волны на оборудование технологических установок НПЗ. Механическое действие взрыва на сооружения и конструкции характеризуют ударные (взрывные) волны. При распространении взрывных волн в воздухе или при взаимодействии их с каким-либо препятствием происходят быстрые изменения давления, плотности, температуры и массовой скорости. Фронт ударной волны, рассматривается как поверхность, на которой претерпевают разрыв сплошности параметры, характеризующие состояние и движение потока среды, при этом на поверхности разрыва выполняются основные законы сохранения: массы (1), количества движения (2) и энергии (3). Состояние среды до (индекс 1) и после (индекс 2) разрыва характеризуется следующими параметрами: скоростью ударной волны (D), плотностью среды (ρ), давлением (p), скоро-

стью потока среды (u), энтальпией (e)

$$\rho_1 \cdot u_1 = \rho_2 \cdot u_2, \quad (1)$$

$$p_1 + \rho_1 \cdot u_1^2 = p_2 + \rho_2 \cdot u_2^2, \quad (2)$$

$$\rho_1 \cdot u_1 \cdot \left(\frac{u_1^2}{2} + e_1 \right) = \rho_2 \cdot u_2 \cdot \left(\frac{u_2^2}{2} + e_2 \right). \quad (3)$$

При решении прикладных задач необходимо знать параметры и закон изменения внешних динамических нагрузок во времени. В качестве расчетных нагрузок принимают упрощенные (рисунок 1), в зависимости от расположения объекта относительно направления движения фронта волны, времени действия ударной волны и характерного времени реакции конструкции.

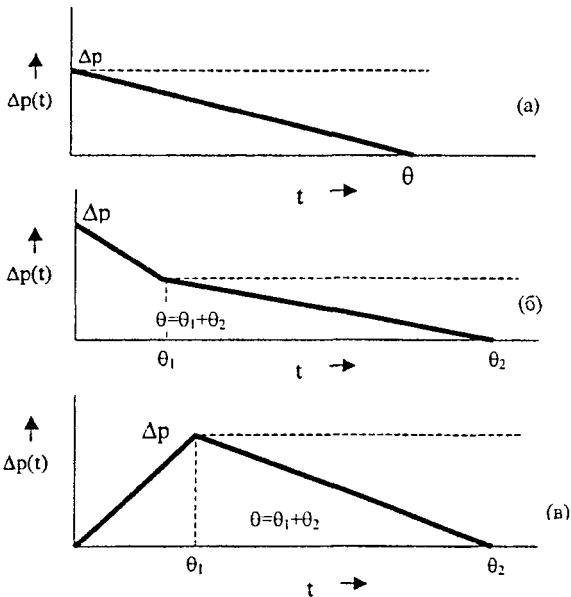


Рисунок 1 - Изменение взрывной нагрузки во времени

Определяя нагрузки, действующие на объект при прохождении воздушной ударной волны, следует иметь в виду следующие важные свойства ударных волн, описанные в литературе:

- 1) скорость распространения ударных волн всегда больше скорости

звука в невозмущенной среде;

2) ударные волны сопровождаются перемещением среды в направлении распространения фронта возмущения;

3) ударная волна не имеет периодического характера, а распространяется в виде одиночного скачка уплотнения;

4) взрывное воздействие на объект характеризуется динамическим давлением, а не избыточным;

5) при встрече проходящей волны с объектом ограниченных размеров происходит отражение и дифракция ударных волн.

Интенсивность нагрузки на объект определяется как произведение избыточного давления на ширину участка действия динамической нагрузки. Рисунок 1 (а) и (б) изображает мгновенно возрастающую, а затем убывающую нагрузку, которую применяют при расчете конструкций на действие воздушных ударных волн: (а) – для бесконечной преграды, (б) – для объектов конечной формы. Нагрузку, представленную на рисунке 1 (в) используют для расчета конструкций, расположенных в замкнутом помещении при затекании в него взрывной волны через проемы.

Полное (эффективное) время действия нагрузки (θ) на объект определяется из условия равенства импульсов давлений:

$$\theta = \frac{2 \cdot i}{\Delta p}, \quad (4)$$

где i – удельный импульс ударной волны, Па·с, численное значение которого можно определить по зависимости:

$$i = 123 \cdot \frac{\sqrt[3]{W^2}}{r}, \quad (5)$$

Δp – избыточное давление на фронте ударной волны

$$\Delta p = 100 \cdot 10^3 \cdot \frac{\sqrt[3]{W}}{r} + 430 \cdot 10^3 \cdot \frac{\sqrt[3]{W^2}}{r^2} + 1400 \cdot 10^3 \cdot \frac{W}{r^3}, \quad (6)$$

где r – расстояние от центра облака до точки измерения, м;

W – масса тротила, энергия которого равна энергии газовой смеси, кг.

Рассмотрены известные методы, используемые для оценки последст-

вий аварий (разрушения зданий и сооружений, находящихся как на территории объекта, так и вне его):

1) методика оценки последствий аварий на пожаро-взрывоопасных объектах и экспресс - методика прогнозирования последствий взрывных явлений на промышленных объектах, которые позволяют определить границы зон разрушений различной степени зданий и сооружений и возможное количество смертельно пораженных людей, в зависимости от режима превращения топливно-воздушной смеси;

2) общие принципы количественной оценки взрывоопасности технологических объектов (стадий, блоков) совместно с методикой расчета участвующей во взрыве массы вещества и радиусов зон разрушений, которые позволяют определить уровень взрывоопасности технологических объектов на основании энергетических показателей технологической системы и определить границы зон разрушений различной степени тяжести.

Известные методы и приемы по динамическому расчету сооружений и конструкций на взрывные и другие специальные воздействия позволяют по параметрам ударных волн определять напряжения, деформации и прогибы в элементах конструкций, чтобы определить степень повреждения. Существуют также упрощенные и численные методы расчета элементов конструкций на действие взрывной волны. Эти приемы и методы используются для обеспечения безопасности людей в сейсмических районах, а также в добывающей промышленности, гражданской обороне и военной промышленности. Показано, что известными методами не в полном объеме получены решения для оценки конструкций, аналогичных технологическому оборудованию предприятий нефтепереработки и нефтехимии.

При решении задачи о живучести аппаратов колонного типа при действии взрывных нагрузок предлагается воспользоваться стандартным методом расчета на прочность и устойчивость и дополнить его расчетной ударной нагрузкой, определяемой с использованием упрощенных методов расчета конструкций на взрывные воздействия. Ударные волны действуют на кон-

струкции и сооружения как кратковременные динамические нагрузки, причем в большинстве случаев они являются аварийными. Поэтому расчет напряжений, прогибов и деформаций в элементах конструкций при воздействии взрыва необходим для выяснения уровня поражения объекта. Наибольший интерес представляют максимальные напряжения и деформации при действии взрывных нагрузок, поэтому учет динамики деформируемого состояния в подобных расчетах, как правило, не производится. В связи с этим целесообразно использовать упрощенные аналитические методы оценки, позволяющие представить результаты расчетов графически. Это дает возможность установить влияние изменения различных параметров нагрузок на деформации в конструкции.

В качестве расчетной схемы аппаратов колонного типа используют вертикальный консольный стержень постоянного (или переменного) сечения, упруго защемленный у основания. В связи с тем, что нет четких рекомендаций по выбору расчетной схемы для аппаратов колонного типа при оценке взрывных воздействий, и кроме того, известно, что поскольку при малых θ деформация пропорциональна импульсу, а при больших θ - деформация зависит только от амплитуды нагрузки, не исключено, что в областях с большими Δr и i в системе будут возникать пластические деформации. Поэтому целесообразно рассматривать колонный аппарат и как упругую систему (по аналогии на действие ветровой и сейсмической нагрузки) и как упругопластичную. Для упрощения вычислений в работе рассматриваются колонные аппараты только постоянного по высоте сечения.

В качестве модели взрыва рассматривается случайный наземный взрыв неограниченного паро-газового облака в воздушной среде (атмосфере) при нормальных условиях с плоским прямым фронтом ударной волны. Поскольку используются упрощенные аналитические методы и допустимо получение приближенных решений, принимается характер изменения нагрузки по высоте равномерно распределенным.

Расчетную нагрузку, действующую на колонный аппарат в целом

или на его участок высотой $((H-y), м)$ при внешнем взрыве можно представить как

$$P_{y,d} = C_D \cdot K_d \cdot q \cdot (H-y), \quad (7)$$

где C_D – аэродинамический коэффициент; для колонного аппарата, ось симметрии которого перпендикулярна направлению потока $C_D=1,2$ (согласно исследованиям Бейкера и др.).

K_d – динамический коэффициент усиления;

q – нагрузка, действующая на аппарат при обтекании его ударной волной, распределенная по высоте аппарата, Н/м;

H – высота аппарата, м;

y – высота расчетного сечения, м.

Ключевыми моментами в решении поставленной задачи является определение q и K_d . Лобовую нагрузку, действующую на объект при взрыве, определяет динамическое давление (Q), поэтому q можно представить как

$$q = \frac{Q \cdot \pi \cdot D_n}{2}, \quad (8)$$

где Q – динамический (скоростной) напор ударной волны, Па; рассчитывается в зависимости от Δp ;

D_n – наружный диаметр колонны, м.

Из литературы известно, что коэффициент динамического усиления взрывных нагрузок определяют из соотношения максимальной деформации (прогиба) в режиме импульсного приложения нагрузки (x_0 , м) и наибольшего статического прогиба ($x_{\text{стат}}$, м):

$$K_d = 1 + \frac{x_0}{x_{\text{стат}}}, \quad (11)$$

При расчете максимального прогиба в режиме импульсного приложения нагрузки используется известный принцип равенства кинетической энергии ударной волны (K , Дж) и потенциальной энергии деформации (U , Дж).

$$K = U. \quad (9)$$

Полная кинетическая энергия в режиме импульсного нагружения определяется следующей зависимостью:

$$K = \sum_{\text{повороты}} \frac{I^2}{2 \cdot m} = \int_0^H \frac{\left(\frac{i \cdot \pi \cdot D_H}{2} dy \right)^2}{\frac{m}{H} dy} = \frac{\pi^2 \cdot i^2 \cdot D_H^2 \cdot H^2}{8 \cdot m}, \quad (10)$$

где I – полный импульс ударной волны, $H \times c$;

m – общая масса аппарата в рабочем состоянии, кг.

Уравнение полной потенциальной энергии для упругопластической $U_{y,n}$ и упругой системы U_y имеет вид:

$$U_{y,n} = \int_0^H M_{\tau} \cdot \left(\frac{d^2 x}{dy^2} \right) dy, \quad (11)$$

$$U_y = \int_0^H \frac{M^2 dy}{2 \cdot E \cdot J} = \frac{E \cdot J}{2} \int_0^H \left(\frac{d^2 x}{dy^2} \right)^2 dy, \quad (12)$$

где M_{τ} и M – изгибающий момент, $H \times m$;

$\left(\frac{d^2 x}{dy^2} \right)$ – кривизна изогнутой оси;

E – модуль Юнга материала аппарата, Па;

J – момент инерции аппарата, m^4 .

Выбираемая форма колебаний должна удовлетворять следующим условиям:

- 1) нулевой прогиб и угол поворота в заделке ($x=0$ и $x'=0$);
- 2) максимальный прогиб на свободном конце;
- 3) отсутствие момента сил на свободном конце (нулевая вторая производная).

Достоверно известно, что этим условиям отвечает колебание, соответствующее линии статического прогиба. Определенная автором по методу начальных параметров, зависимость формы колебаний изогнутого стержня относительно максимального прогиба (x_0, m) имеет вид

$$x = \frac{x_0}{3} \cdot \left(\frac{y}{H} \right)^4. \quad (13)$$

Отсюда, двойным дифференцированием (13) получено уравнение кривизны изогнутой оси

$$\left(\frac{d^2x}{dy^2}\right) = \frac{4 \cdot x_0}{H^2} \cdot \left(\frac{y}{H}\right)^2. \quad (14)$$

Подстановкой (14) в (11) и (12), а также известных из литературы выражений для M_T и M , автором получены выражения для потенциальной энергии деформации рассматриваемых систем:

$$U_{yn} = \frac{x_{0yn} \cdot \sigma_T \cdot \pi \cdot (D_H^2 - D_B^2)}{3}, \quad (15)$$

$$U_y = \frac{8 \cdot x_{0y}^2 \cdot E \cdot J}{5 \cdot H^3}, \quad (16)$$

где σ_T – предел текучести материала, Па;

D_B – внутренний диаметр аппарата, м.

Далее, решением (9), автором получена зависимость максимального прогиба x_0 в режиме импульсного приложения для упругопластической и упругой систем в следующем виде:

$$x_{0,п} = \frac{3,7 \cdot i^2 \cdot D_H^2 \cdot H^2}{m \cdot \sigma_T \cdot (D_H^2 - D_B^2)}, \quad (17)$$

$$x_{0y} = 0,88 \cdot i \cdot D_H \cdot \sqrt{\frac{H^3}{E \cdot J \cdot m}}. \quad (18)$$

Максимальный статический прогиб при действии взрывной нагрузки на объекты цилиндрической формы, характеризует давление, действующее на него в момент установления режима обтекания ($\Delta p_{обт}$, Па), величину которого можно определить по зависимости, приведенной в литературе:

$$\Delta p_{обт} = \Delta p + \frac{2,5 \cdot \Delta p^2}{\Delta p + 0,72 \cdot 10^6}, \quad (19)$$

тогда для колонных аппаратов

$$x_{стат} = \frac{\Delta p_{обт} \cdot \pi \cdot D_H \cdot H^4}{16 \cdot E \cdot J}. \quad (20)$$

Подстановкой полученных выражений (17), (18) и (20) в (11), автором рассчитан коэффициент динамического усиления взрывной нагрузки для колонного аппарата при рассматриваемых расчетных схемах:

$$K_{\text{ува}} = 1 + \frac{1885 \cdot i^2 \cdot D_{\text{н}} \cdot E \cdot J}{m \cdot \Delta p_{\text{обт}} \cdot \sigma_{\text{T}} \cdot (D_{\text{н}}^2 - D_{\text{б}}^2) \cdot H^2}, \quad (21)$$

$$K_{\text{уэ}} = 1 + \frac{4,48 \cdot i \cdot \sqrt{E \cdot J}}{\Delta p_{\text{обт}} \cdot m \cdot H^3}. \quad (22)$$

Таким образом, дальнейшая подстановка (21) или (22) и (8) в (7) позволяет определить нагрузку, действующую на колонный аппарат при внешнем взрыве

$$P_{\text{уэ}} = 1,88 \cdot Q \cdot D_{\text{н}} \cdot \left(\Delta p_{\text{обт}} + 4,48 \cdot i \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{m \cdot H^3}} \right) \cdot (H-y), \quad (23)$$

$$P_{\text{ува}} = 1,88 \cdot Q \cdot D_{\text{н}} \cdot \left(\Delta p_{\text{обт}} + \frac{1885 \cdot i^2 \cdot D_{\text{н}} \cdot E \cdot J}{m \cdot \sigma_{\text{T}} \cdot (D_{\text{н}}^2 - D_{\text{б}}^2) \cdot H^2} \right) \cdot (H-y). \quad (24)$$

Затем по известной из литературы формуле рассчитывается изгибающий момент от взрывной нагрузки в любом из опасных сечений и по стандартной методике проводится проверочный расчет на прочность и устойчивость колонного аппарата.

Третья глава посвящена оценке живучести аппаратов колонного типа при внешнем взрыве, которая проводилась с учетом совместного действия взрывных и других расчетных нагрузок, определяемыми стандартными методами расчета. Расчеты проводились для 23 аппаратов, по методике, изложенной во второй главе, имеющие различные геометрические характеристики и изготовленные из различных сталей. Поскольку расчеты проводились для различных масс источников взрыва, учитывалось не только избыточное давление, создаваемое взрывной волной, но, соответственно, и действующий импульс для зон различного уровня разрушений.

При сравнении полученных расчетных данных для упругой и упругопластической системы, оказалось, что при одинаковых параметрах ударной волны нагрузки, действующие на упругопластическую систему меньше, чем действующие на упругую. Независимо от массы заряда, нарушение условий прочности и устойчивости наблюдается в областях высоких давлений и импульсов, т.е. для избыточного давления около 70 кПа и соответствующих ему значений им-

пульсов. В отдельных случаях наблюдаются нарушения прочностных характеристик как при меньших избыточных давлениях (28 кПа), так и при больших (более 70 кПа), что в большей степени связано со свойствами материала аппаратов, а не его геометрическими характеристиками.

В первую очередь нарушается прочность анкерных болтов. В некоторых случаях при исчерпании прочности анкерных болтов во всех других опасных сечениях выполняются условия прочности, и сохраняется устойчивость аппарата (при небольшой массе заряда $W=2...10$ тонн). В тех же областях расчета иногда наблюдается исчерпание прочности (потеря устойчивости формы) корпуса аппарата без нарушения прочностных условий анкерных болтов. Устойчивость формы опорной обечайки теряется в областях еще более высоких Δp и i . Графически эти результаты продемонстрированы на рисунке 2. При увеличении параметра $\left(D_n \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{m \cdot H}} \right)$, нагрузка, создаваемая взрывом, имеет тенденцию к увеличению, хотя наблюдается область, для которой этот рост незначителен. При прочих равных условиях наименьшие нагрузки возникают при действии на аппараты с характерным соотношением диаметра и высоты примерно от 12 и выше, а наибольшие – при H/D_n менее 9. Чем тяжелее аппарат, при прочих равных условиях, тем при больших значениях ударных нагрузок выполняются условия прочности и устойчивости.

На рисунке 2 также для сравнения изображены линии ветровой нагрузки, действующей на аппарат и критической нагрузки, приводящей к разрушению аппарата.

Зависимость коэффициента динамического усиления K_d от относительной продолжительности нагружения $\omega\theta$ (ω – величина, обратная периоду собственных колебаний аппарата, θ – эффективное время действия нагрузки) изображена на рисунках 3,4.

Анализ этих зависимостей показывает, что характер линии на рисунке 3 согласуется с известными аналогичными зависимостями в полученном диапазоне $\omega\theta$ как для мгновенно нарастающей нагрузки, так и для нагрузки

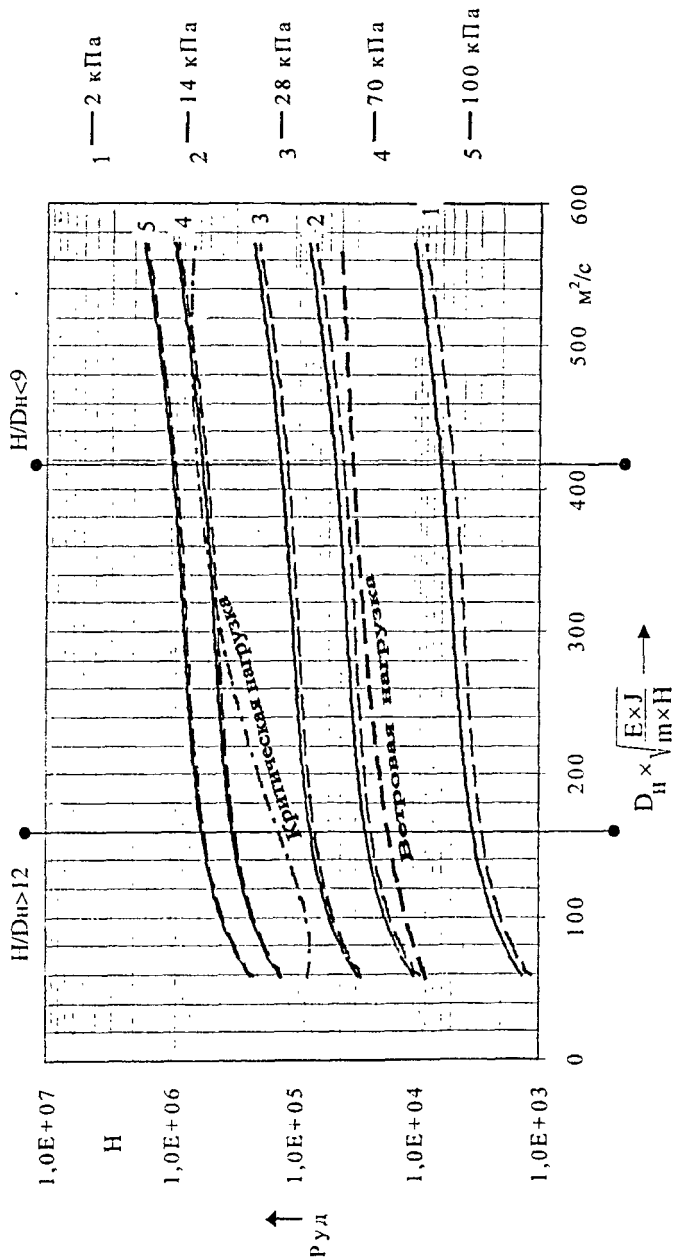


Рисунок 2 – Зависимость ударной нагрузки от характеристик колонного аппарата
 — упругая система; - - - - упругопластическая система.

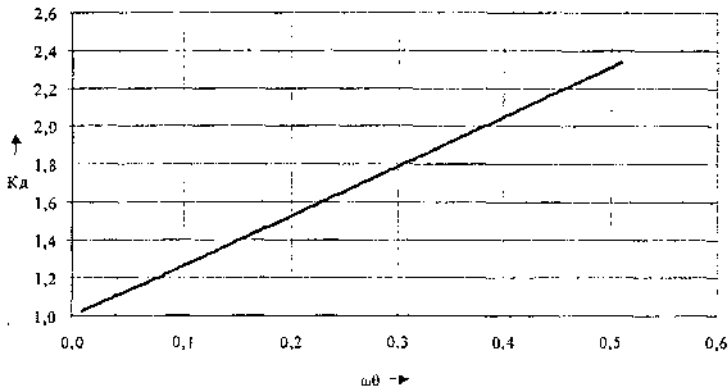


Рисунок 3 - Зависимость коэффициента динамического усиления от эффективного времени действия взрыва для упругой системы

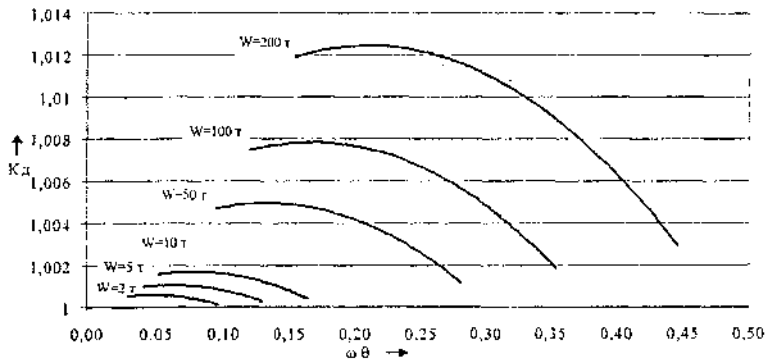


Рисунок 4 - Характер зависимости коэффициента динамического усиления упругопластической системы от эффективного времени действия взрыва для отдельного аппарата

с ограждением (рисунок 1 (а), (б)), что соответствует характеру взаимодействия взрывной волны и колонного аппарата. Характер кривой на рисунке 4 соответствует нагрузке, изображенной на рисунке 1 (в). Незначительное увеличение коэффициента динамического усиления говорит о преобладании статического характера действия взрывной нагрузки. Подобные результаты не

отражают действие ударной волны на аппараты колонного типа, поэтому рассматривать их как упругопластические системы даже в областях высоких Δp и i – некорректно.

Для оценки достоверности проделанных исследований рассмотрены несколько примеров воздействия взрывов на промышленные объекты при реальных авариях, которые показали удовлетворительную сходимость результатов, полученных расчетным путем и на основе экспертного анализа аварий.

В четвертой главе определяется влияние параметров взрывной вол-

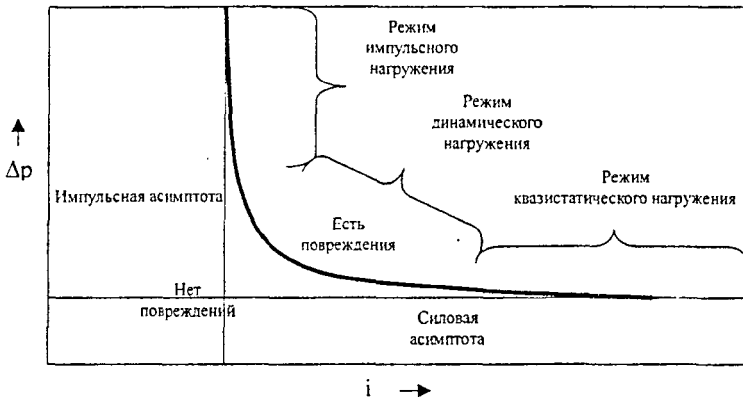


Рисунок 5 – Режимы нагружения объектов при взрыве

ны на уровень и характер повреждений аппаратов колонного типа. Согласно литературным данным выделяют три характерных режима нагружения объектов (рисунок 5):

1) импульсный - характеризуется малой продолжительностью воздействия на конструкцию по сравнению с характерным временем реакции объекта, а к моменту исчезновения нагрузки в конструкции могут возникнуть лишь незначительные деформации;

2) квазистатический – характеризуется большой продолжительностью воздействия волны на объект по сравнению с периодом собственных колебаний конструкции, при этом деформация зависит только от давления волны и жесткости конструкции;

3) динамический – является переходным режимом от импульсного к квазистатическому, при этом уровень воздействия на объект определяется давлением, импульсом ударной волны, жесткостью и массой конструкции; в этом режиме продолжительность воздействия и время реакции конструкций совпадают по порядку величины, соответственно при этом возможно совпадение характерной частоты (амплитуды) нагружения ударной волны с собственной частотой (резонансной амплитудой) этого объекта. Сравнение полученных значений продолжительности нагружения и реакции конструкции (период собственных колебаний конструкции) показало, что продолжительность нагружения либо меньше времени реакции конструкции, либо имеют один порядок, что соответствует импульсному и динамическому режиму нагружения, что подтверждает правильность выбора для колонных аппаратов упругой расчетной схемы. Схема, представленная на рисунке 5, представляет собой P-i диаграмму, которая позволяет при известной комбинации величины нагрузки и ее импульса установить степень повреждения конструкции. Силовая асимптота получена из равенства потенциальной энергии деформации и максимальной работы, которая может быть совершена над конструкцией по-

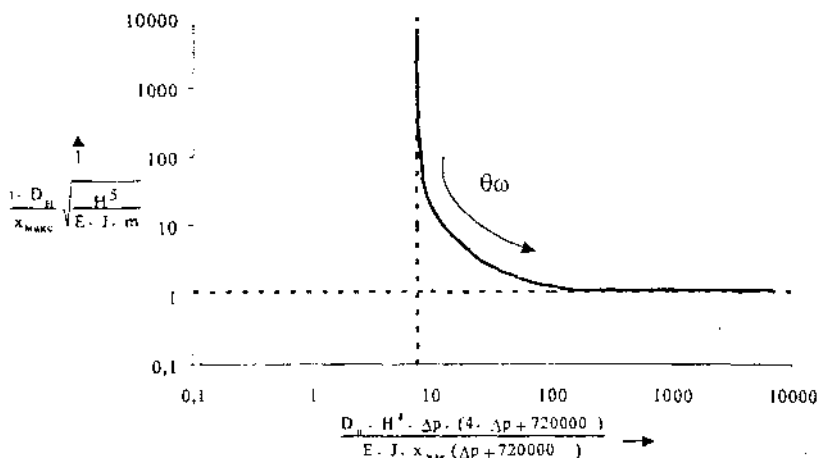


Рисунок 6 – Кривая поражения колонных аппаратов при взрыве

стоянной внешней силой. Импульсная асимптота определена из равенства потенциальной энергии деформации и кинетической энергии взрывной волны. На рисунке.6 изображена кривая поражения аппаратов колонного типа (P-i диаграмма), полученная автором.

Известно, что в практике эксплуатации высоких сооружений и гибких конструкций бывают случаи, когда системы обнаруживают склонность к раскачиванию в условиях естественного ветра. При действии ударной нагрузки это явление может усиливаться и привести к резонансу. Поскольку ударная волна не имеет периодического характера и распространяется как единичный скачок уплотнения, колебания, возникающие после прохождения ударной волны, можно рассматривать как свободные затухающие колебания. Для оценки опасности резонансных явлений при действии взрывной волны на аппараты колонного типа проведены исследования, которые заключались в сравнении x_0 и $x_{0\text{рез}}$ в областях различных Δp при взрыве зарядов разных масс. В результате расчетов выявлены области значений из-

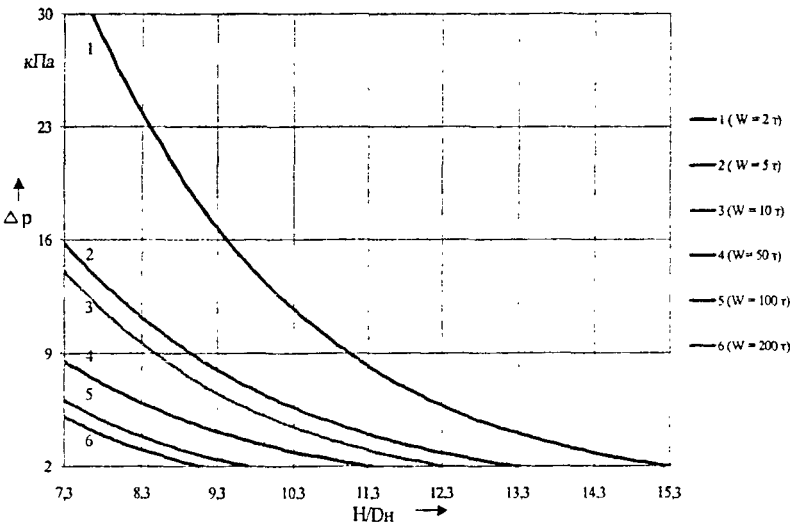


Рисунок 7 - Резонансные кривые ($x_0/x_{рез}=1$) в зависимости от избыточного давления и массы заряда для различных колонных аппаратов

быточных давлений, при которых максимальный прогиб свободного конца аппаратов колонного типа от действия взрыва находится в резонансной области состояния (рисунок 7).

Как видно из представленных данных явление резонанса ($x_0/x_{\text{рез}}=1$) представляет опасность в зонах небольших избыточных давлений ($\Delta p=2...28$ кПа), где влияющий параметр ударной волны – импульс (i).

Общие выводы

1) проведена оценка живучести аппаратов колонного типа технологических установок НПЗ при воздействии воздушной ударной волны с учетом динамического характера действия взрыва;

2) на основе анализа статистической информации об авариях, связанных с взрывами на промышленных объектах нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий, показана опасность аппаратов колонного типа как элемента технологической системы, имеющей значительные геометрические размеры, внутренний объем и содержащей большие массы взрывоопасных углеводородов, склонных к взрывному превращению при аварийных выбросах из аппаратов;

3) предложен метод, позволяющий определить расчетную нагрузку, действующую на аппарат колонного типа установок НПЗ при внешнем взрыве, подобранный в результате анализа известных методов и приемов оценки взрывных воздействий на промышленные объекты; получена зависимость величины ударной нагрузки от параметров конструкции аппарата (геометрии, материала, массы); выявлено, что наименьшие нагрузки возникают в аппаратах с характерным соотношением диаметра и высоты примерно от 12 и выше, а максимальные – при H/D_n менее 9; установлена зависимость коэффициента динамического усиления взрывной нагрузки (K_d) от относительной продолжительности действия нагрузки $\omega\theta$ и параметров взрывной волны (Δp и i). Для рассмотренных колонных аппаратов величина K_d находится в диапазоне 1,04...4,6 при величине $\omega\theta=0.01...0.66$;

4) показано, что поражение аппаратов колонного типа происходит в

областях с большими значениями избыточного давления (порядка 70 кПа и выше) и соответствующих им значениях импульса, что согласуется с результатами исследований аварий, где наблюдались поражения различной степени аппаратов колонного типа; выявлены области значений избыточных давлений (2...28 кПа), при которых максимальный прогиб аппаратов колонного типа от действия взрыва находятся в резонансной области;

5) получена кривая поражения аппаратов колонного типа (P-i диаграмма), которая позволяет при сочетании параметров взрывной волны (избыточного давления и импульса) и заданном значении максимального прогиба оценить степень поражения колонного аппарата.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Бугаева Ю.В., Хусниязов М.Х. Оценка воздействия ударной волны на колонные аппараты при взрыве. II всероссийская научно-техническая конференция "Техническая диагностика, промышленная и экологическая безопасность", Уфа, УГНТУ 1996. -С.179-180.

2. Бугаева Ю.В., Ибрагимов И.Г. Анализ влияния возможных взрывов на взаимное расположение объектов. II всероссийская научно-техническая конференция "Техническая диагностика, промышленная и экологическая безопасность", Уфа, УГНТУ, 1996. -С. 192-193.

3. Хусниязов М.Х., Бугаева Ю.В. Оценка последствий аварий на пожаровзрывоопасных объектах нефтепереработки и нефтехимии. Учебное пособие. Уфа: УГНТУ, 1997. -52 с.

4. Стороженко Ю.В. Гареева И.Ю. Разработка сценариев возможных аварийных ситуаций на установках нефтепереработки. Материалы 49-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 50-летию УГНТУ, 1998, УГНТУ. -С 11.

5. Стороженко Ю.В., Хусниязов М.Х. Анализ причин возникновения аварии на промышленных предприятиях. Материалы 49-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 50-летию УГНТУ, 1998, УГНТУ. -С 10.

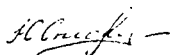
6. Стороженко Ю.В., Хуснияров М.Х. Влияние ударной волны на устойчивость колонного оборудования нефтеперерабатывающих предприятий Методы кибернетики химико-технологических процессов (КХТП-V-99). Тезисы докладов V международной научной конференции. Уфа, 1999 –С. 34-36, том 2, книга II.

7. Стороженко Ю.В., Хуснияров М.Х., Иляева М.А. Характеристики взрывоопасного парогазового облака Методы кибернетики химико-технологических процессов (КХТП-V-99). Тезисы докладов V международной научной конференции. Уфа, 1999. –С.49-50, том 2, книга II.

8. Стороженко Ю.В., Хуснияров М.Х., Муниров А.Ю. Основные причины аварийных ситуаций на установке Л-35-11/1000 и их возможные последствия. Сборник научных трудов, выпуск №1. Комплекс Л-35-11/1000 - стабильность и надежность. путь в новое тысячелетие. Уфа, УГНТУ, АО "НУНПЗ"1999. -С 68-70.

9. Стороженко Ю.В., Хуснияров М.Х., Шарафиев Р.Г. Нагрузки, действующие на аппараты колонного типа установок НПЗ при взрывах. Материалы второго научно-технического семинара "Обеспечение промышленной безопасности производственных объектов топливно-энергетического комплекса Республики Башкортостан". Уфа, 1999. -С.148-151.

Сонскатель



Ю.В. Стороженко

Лицензия ЛР № 020267 от 22.11.96.

Подписано к печати 10.01.2000. Формат бумаги 60x84 1/16.

Бумага писчая. Печать офсетная.

Печ. листов 1.5. Тираж 90 экз. Заказ 1.

Типография Уфимского государственного нефтяного технического университета.

450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.