

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТРУБОПРОВОДНОЙ ОБВЯЗКИ НА ВЗРЫВОУСТОЙЧИВОСТЬ АППАРАТА КОЛОННОГО ТИПА

Гостёнова Е.А., Тляшева Р.Р., Кузеев И.Р.

*Уфимский государственный нефтяной технический университет
кафедра "Машины и аппараты химических производств"
email: cpn@rusoil.net*

В статье представлены результаты исследования влияния трубопроводной обвязки на устойчивость колонного аппарата при взрывном воздействии ударной волны, а также влияние на устойчивость колонны направление действия взрывной волны.

Ключевые слова: *промышленная безопасность, аппарат колонного типа, взрывная волна, технологические трубопроводы.*

Важную роль в обеспечении топливно-энергетической безопасности страны выполняет нефтегазоперерабатывающий комплекс, без которого немислимо жизнеобеспечение населения и нормальной работы всего хозяйственного комплекса.

Обеспечение промышленной безопасности, определяемой как состояние защищенности жизненно важных интересов личности и общества от аварий на опасных производственных объектах, является актуальной задачей в настоящее время.

Наиболее характерными опасностями установок нефтегазоперерабатывающих предприятий являются [1, 2]:

1. взрывы аппаратов, содержащих сжатые газы;
2. разгерметизация оборудования, ведущая к выбросу взрывоопасных веществ, с последующим формированием взрывоопасного облака;
3. разгерметизация технологического оборудования, сопровождающаяся выбросом сырья, с его последующим испарением и формированием парогазового облака, способного к дальнейшему взрывному превращению;
4. образование взрывоопасных парогазовых смесей углеводородов с воздухом в производственных помещениях и в аппаратуре и инициирование взрыва внутренними и внешними источниками воспламенения.

Основным технологическим оборудованием промышленных объектов являются аппараты колонного типа с обвязкой трубопроводов, обеспечивающих взаимосвязь между отдельными единицами оборудования. В процессе эксплуатации на колонный аппарат действует широкий спектр механических нагрузок - внешнее или внутреннее давление, усилия от трубопроводов, собственный вес колонны, сейсмические и ветровые воздействия. В результате действия этих нагрузок аппарат находится в сложном напряженно-деформированном состоянии (НДС). Величина рабочих напряжений и их распределение в элементах колонны в значительной мере определяют ее работоспособность, уровень и характер поврежденности. Это оборудование работает в сложных условиях эксплуатации, при высоких температурах и внутреннем давлении, кроме этого, аппараты колонного типа содержат значительное количество углеводородного сырья. Конструктивные особенности аппаратов таковы, что они имеют значительную высоту и располагаются на открытых площадках, что, в случае аварии, может приводить к истечению продукта с последующим образованием взрывоопасного облака.

Анализ статистической информации об авариях, связанных с взрывами показал, что в случае разрушения аппарата колонного типа такие аварии чреваты тяжелыми последствиями, сопровождающимися поражением людей и разрушением окружающих промышленных объектов.

На сегодняшний день существуют методы, позволяющие произвести расчет аппаратов колонного типа, применяемых в промышленности, а также позволяющие оценить нагрузки, их влияние на работу колонн, рассчитать основные характеристики при нормальном протекании технологического процесса и при возникновении нештатных ситуаций. На основе методов разработаны программные комплексы, позволяющие производить точные расчеты в короткие сроки с достаточной степенью адекватности результатов, такие как ABAQUS, ANSYS, NASTRAN, MARC, и др.

В настоящее время проведен ряд научных исследований в области расчетов аппаратов колонного типа.

Работы [5, 6] посвящены оценке прочности и устойчивости аппаратов колонного типа при действии внешнего взрыва с учетом дополнительных динамических факторов: расположения эпицентра взрыва относительно колонны; аэроди-

намической неустойчивости; возможного наличия трещин. Предложен метод, позволяющий определить расчетную нагрузку, действующую на аппарат колонного типа при внешнем взрыве, с учетом высоты расположения эпицентра взрыва относительно колонного аппарата.

Автором научной работы [3] выполнено моделирование с помощью метода конечных элементов и проведен анализ реальной аварии с применением программного комплекса ANSYS, что позволило выявить возникновение напряжений, достигающих предела прочности в крепежных деталях, способных привести к падению колонного аппарата. В ходе анализа напряженно-деформированного состояния аппарата определена последовательность разрушения крепежных элементов в результате неравномерного нагрева корпуса открытым пламенем. Показано, что закрепление колонного аппарата влияет на напряжения, возникающие в анкерных болтах и последовательность их разрушения.

В работе [4] создана методика расчета в полной трехмерной постановке статического состояния и динамического поведения колонны при воздействии ударной взрывной волны, с учетом свойств грунта и модели поведения материала болтов, с использованием программного комплекса ABAQUS.

Одним из недостатков этих научных исследований является то, что они не учитывали взаимосвязь аппаратов колонного типа с технологической трубопроводной обвязкой, а колонна, обвязанная трубопроводами, обладает сдерживающим моментом, что усиливает ее устойчивость при воздействии ударной взрывной волны.

В связи с этим возникла необходимость в проведении исследования влияния трубопроводной обвязки на устойчивость колонного аппарата при взрывном воздействии ударной волны, а также влияние на устойчивость колонны направления действия взрывной ударной волны. В качестве метода, позволяющего оценивать состояние объектов, был выбран конечно-элементный анализ, реализованный в программном комплексе ABAQUS.

Первая задача о влиянии трубопроводной обвязки на устойчивость колонны при взрывном воздействии ударной волны состояла в построении геометрических моделей, представленных на рис. 1:

- А) модель колонного аппарата без учета трубопроводной обвязки (рис. 1а);
- Б) модель колонного аппарата с учетом трубопроводной обвязки (рис. 1б).

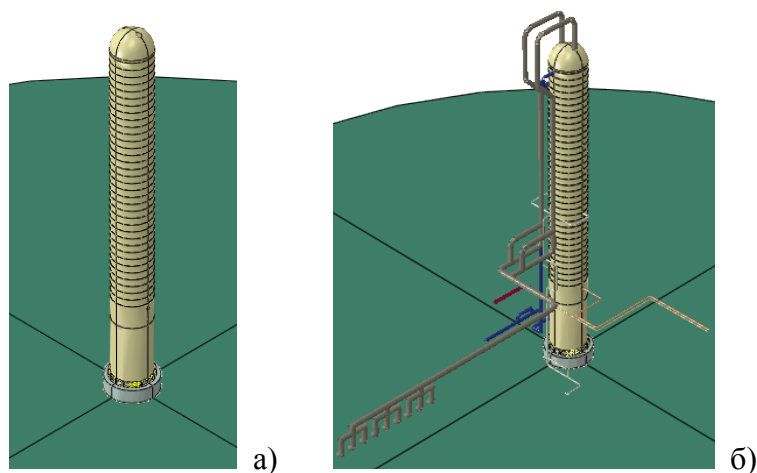


Рисунок 1. Геометрическая модель колонны программного комплекса ABAQUS:
а) без трубопроводной обвязки; б) с трубопроводной обвязкой

Для исследования влияния направления действия взрывной волны на колонну было выбрано четыре ортогональных направления, показанных на рис. 2.

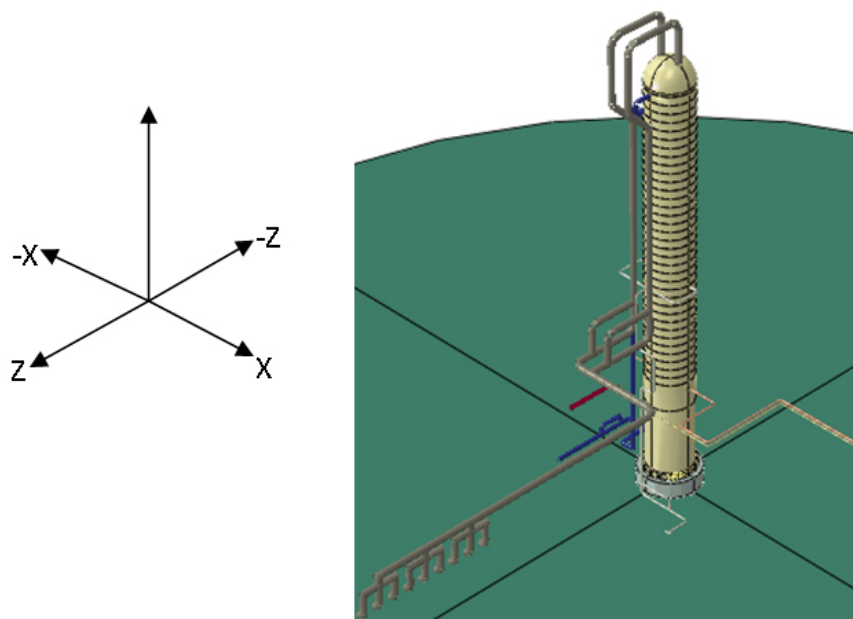


Рисунок 2. Системы координат в модели

Значение давления на фронте взрывной волны для всех расчётов задавалось как равномерное и принималось 100 КПа, что соответствует максимальному давлению, возникающему при взрыве парогазовоздушной смеси, при котором происходит «полное разрушение» (рис. 3).

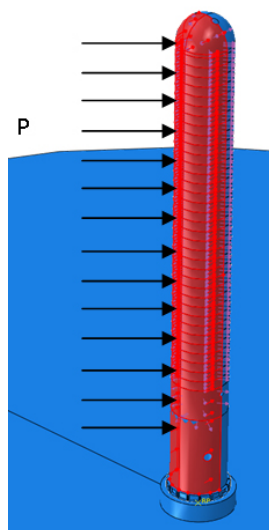


Рисунок 3. Схема распределения вертикального фронта ударной волны

Нагрузки на трубопроводы задавались с учетом подверженности трубопроводной обвязки воздействию взрывной волны в зависимости от направления действия взрывной волны. Аэродинамическая тень от колонны в зависимости от направления действия взрывной волны показана на рис. 4. Соответственно участки трубопроводов, попадающие в аэродинамическую тень колонны в расчёте не учитывались.

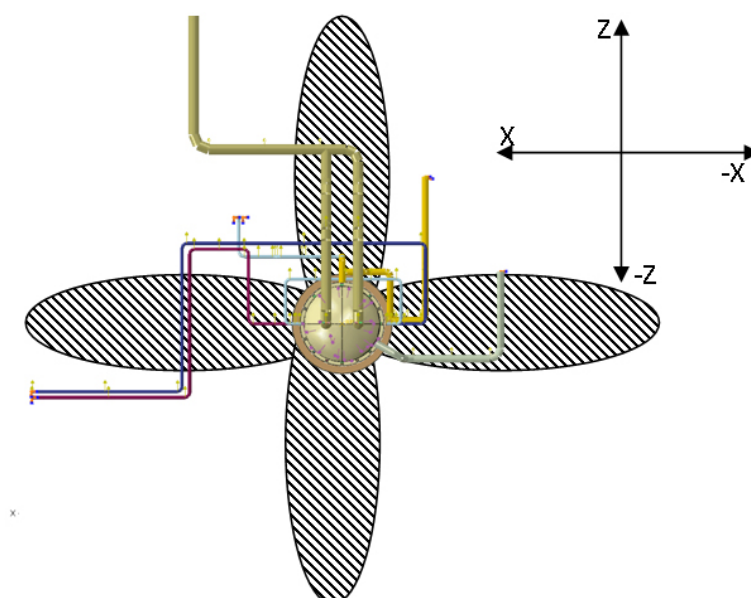


Рисунок 4. Аэродинамическая тень от колонны в зависимости от направления действия взрывной волны

Давление от взрывной волны в значительной мере воздействует лишь на участки трубопроводов, расположенные поперек направления действия взрывной волны. Давление на участки трубопроводов, расположенных вдоль направления действия взрывной волны принимались малыми, и не учитывались.

Для оценки влияния трубопроводной обвязки на устойчивость колонны при взрывном воздействии взрывной ударной волны, а также для наглядности исследования проводились в различных условиях:

1. Колонна без обвязки трубопроводов, взрывная волна действует в направлении Z ;
2. Колонна с обвязкой трубопроводов, взрывная волна действует в направлении Z ;
3. Колонна с обвязкой трубопроводов, взрывная волна действует в направлении $-Z$;
4. Колонна с обвязкой трубопроводов, взрывная волна действует в направлении X ;
5. Колонна с обвязкой трубопроводов, взрывная волна действует в направлении $-X$.

Критериями оценки воздействия взрывной волны на колонну были приняты:

1. Исследование перемещения верхней точки колонны во времени от действия на колонну взрывной волны;
2. Исследование напряженно-деформированного состояния анкерных болтов, в частности исследование эквивалентных пластических деформаций в болте;
3. Исследование количества болтов, в которых образовались пластические деформации;
4. Исследование максимальных пластических деформаций, возникших в трубопроводной обвязке;
5. Исследование максимальных напряжений и деформаций, возникающих в колонне.

По результатам вычисления были построены номограммы зависимости:

- перемещения вершины колонны от направления действия взрывной волны;
- ускорение вершины колонны от направления действия взрывной волны;

- напряжение по Мизесу, действующее по образующей от верхней точки колонны до фундамента;
- логарифмические деформации, возникающие по высоте колонны, для всех расчётных случаев;
- эквивалентные пластические деформации, возникающие по высоте колонны.

На рис. 5 - 9 представлены результаты исследования для каждого из расчётных случаев.

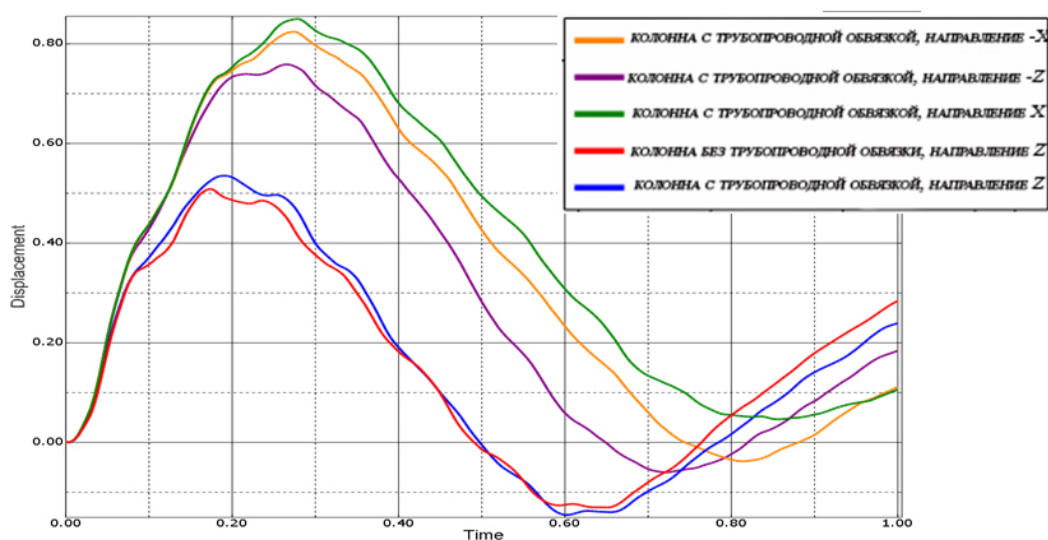


Рисунок 5. Перемещение вершины колонны в направлении действия взрывной волны (метр - секунда)

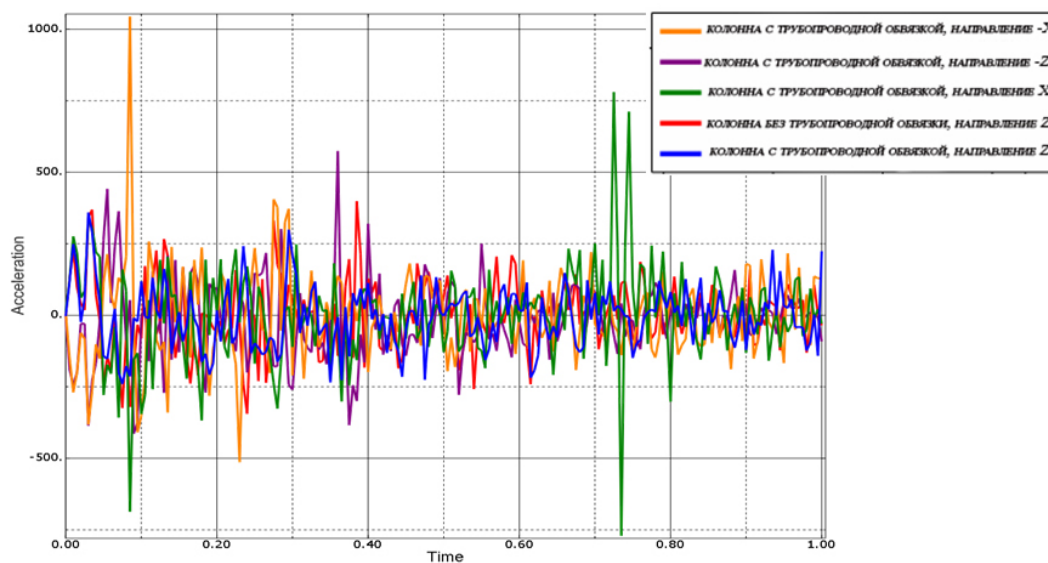


Рисунок 6. Ускорение вершины колонны в направлении действия взрывной волны (метр/секунда² – секунда)

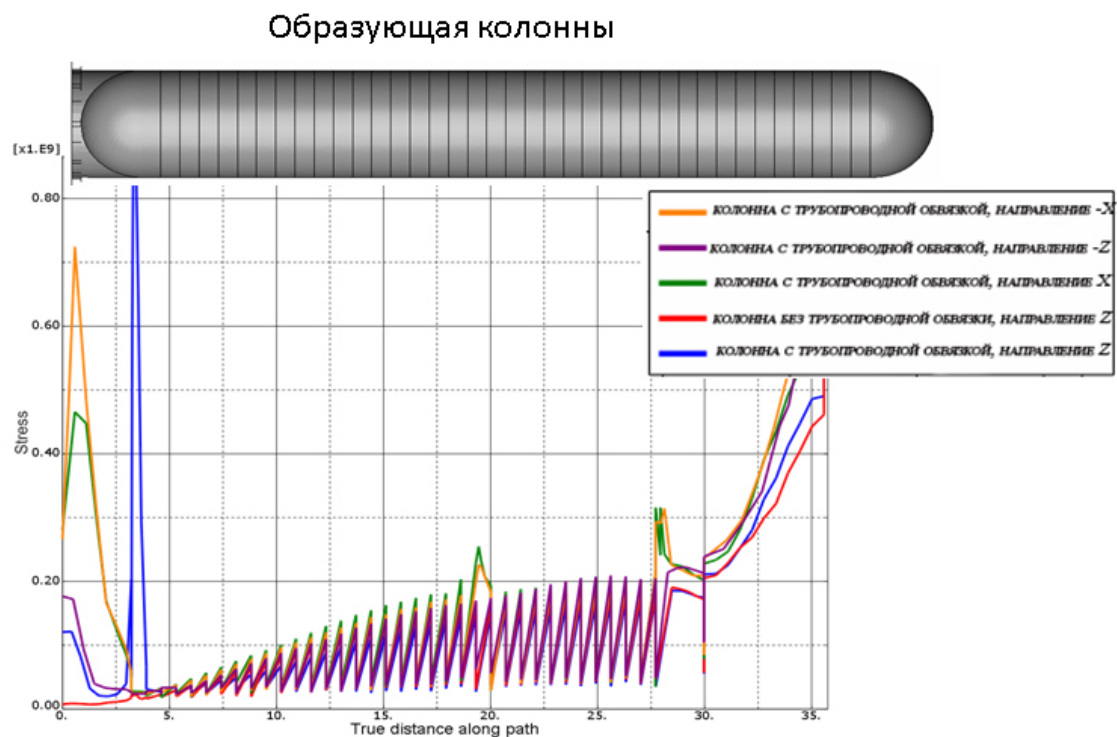


Рисунок 7. Эпюры максимальных напряжений по Мизесу, действующих по высоте колонны, для всех расчётных случаев

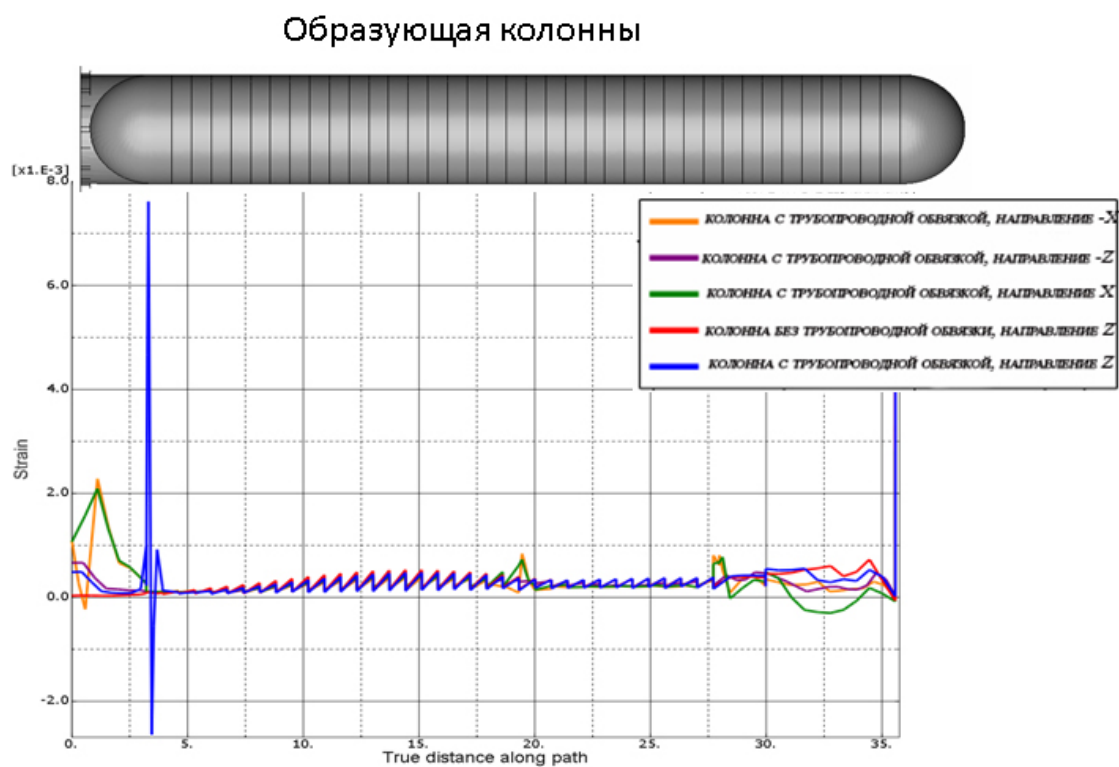


Рисунок 8. Эпюры максимальных логарифмических деформаций, возникающих по высоте колонны, для всех расчётных случаев

Образующая колонны

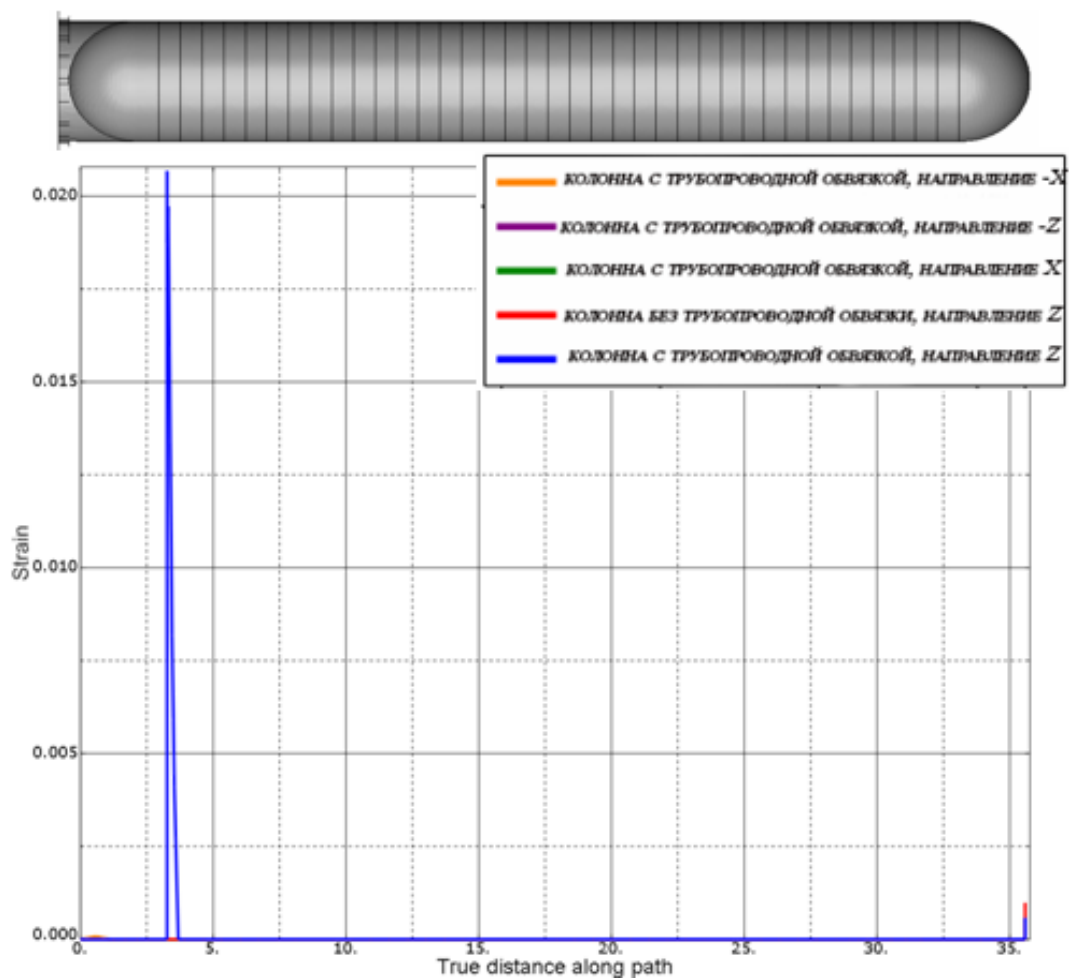


Рисунок 9. Эпюра максимальных эквивалентных пластических деформаций, возникающих по высоте колонны, для всех расчётных случаев

Численные значения результатов исследования для всех расчётных случаев сведены в табл. 1.

Таблица 1

Численные значения результатов исследования

| Расчетный случай | Максимальное перемещение вершины колонны | Максимальное ускорение вершины колонны | Количество болтов, получивших эквивалентные пластические деформации >0.01 | Максимальные эквивалентные пластические деформации в болтах | Максимальные эквивалентные пластические деформации в фланце | Максимальные пластические деформации в трубопроводах |
|--|--|--|---|---|---|--|
| 1. Колонна без обвязки трубопроводов, взрывная волна действует в направлении Z | 0,509013 | 398,757 | 9 | 0,2314 | 0,9949 | - |
| 2. Колонна с обвязкой трубопроводов, взрывная волна действует в направлении Z | 0,535253 | 359,195 | 9 | 0,8673 | 0,9795 | 0,0901 |
| 3. Колонна с обвязкой трубопроводов, взрывная волна действует в направлении X | 0,850111 | 780,152 | 11 | 1,007 | 0,9655 | 0,1456 |
| 4. Колонна с обвязкой трубопроводов, взрывная волна действует в направлении -Z | 0,758749 | 574,006 | 11 | 0,8486 | 1,013 | 0,4642 |
| 5. Колонна с обвязкой трубопроводов, взрывная волна действует в направлении -X | 0.824315 | 1044.34 | 11 | 1.040 | 0.5698 | 0.6314 |

Из представленной выше таблицы видно, что учет в расчёте трубопроводной обвязки и действующей на нее компоненты взрывной волны приводит к увеличению перемещения вершины колонны от 10 % до 41 %, эквивалентных деформаций в болтах от 26 % до 77 % в зависимости от направления взрыва; разница между значениями перемещений вершины колонны и эквивалентных пластических деформаций в болтах достигает 38 % для перемещения и 15 % для пластических деформаций.

Этими данными подтверждается факт о значительном влиянии трубопроводной обвязки и направления действия взрывной ударной волны на поведение и соответственно на устойчивость ректификационной колонны в момент взрыва.

Таким образом, при расчёте устойчивости ректификационной колонны обязательно необходимо учитывать ее трубопроводную обвязку и направление воздействия взрывной волны на колонну.

Литература

1. Баратов А.Н., Пчелинцев В.А. Пожарная безопасность. – М.: изд-во АСВ, 1997. – 176 с.
2. Бард В.Л., Кузин А.В. Предупреждение аварий в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. – М.: Химия, 1984. – 315 с.
3. Зарипов Р.А. Диссертация на соискание степени магистра техники и технологии "Влияние поражающих факторов аварийной ситуации на изменение деформированного состояния колонного аппарата", 2005 г
4. Ильин К.А.. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук "Деформирование аппаратов колонного типа при динамическом воздействии взрывной волны с учетом свойств грунта", 2007 г.;
5. Иляева М.А., Кузеев И.Р. Аэродинамическая неустойчивость колонных аппаратов под действием внешнего взрыва на НПЗ // Нефть и газ, 2002. № 1. – С. 65-69.
6. Стороженко Ю.В. Оценка живучести аппаратов колонного типа нефтеперерабатывающих предприятий при действии внешнего взрыва. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Уфа, УГНТУ, 2000. – 115 с.