РАЗРАБОТКА ЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА ОПЕРАТОРНОЙ СТАНЦИИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВОЗДУШНОЙ ВЗРЫВНОЙ ВОЛНЫ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ABAQUS

Тропкин С.Н.[1,2)], Тляшева Р.Р. к.т.н.[2)], Баязитов М.И. к.т.н.[2)],
Смольников О. [2)]

1) ООО «ТЕСИС»

2) Уфимский государственный нефтяной технический универсистет.

Одним из наиболее опасных видов аварийной ситуации на предприятиях нефтегазовой отрасли является воздушный взрыв, происходящий вследствие неконтролируемого выброса и последующего возгорания продуктов переработки. Воздушный взрыв представляет значительную опасность для жизни и здоровья персонала нефтегазовых производств, что влечет за собой необходимость создания специальных защитных средств на случай возникновения подобной экстремальной ситуации.

В некоторых случаях, конструкции, используемые в зоне опасных производств могут не удовлетворять современным требованиям обеспечения безопасности персонала, в следствии того, что они были спроектированы до принятия современных норм, или в высокой степени изношены.

К подобному типу конструкции относится операторные станции. Перестройка операторной станции может потребовать больших трудозатрат, связанных с перекладкой инженерных и управляющих коммуникаций, и как следствие, вызвать значительные простои в работе предприятия.

В подобном случае наиболее целесообразным является применение специальных защитных сооружений, способных погасить воздействие ударной волны на защищаемую конструкцию.

Коллективом авторов разработан новый тип защитной конструкции, позволяющий эффективно уменьшить давление во фронте ударной волны, и тем самым значительно снизить эффект от ее воздействия на здание операторной – основном месте размещения персонала на нефтегазовом производстве.

Конструкция защитного устройства представляет собой сварную стальную ячеистую перегородку, состоящую из балочных профилей, стальных листов, и разрушаемых элементов – энергопоглощающих контейнеров (Рис. 1.). Ячейка представляет собой набор особым образом расположенных стальных листов, разрушаемых при воздействии взрывной волны. За счѐт разрушения ячеек происходит преобразование энергии взрывной волны в энергию упругопластического деформирования, и таким образом после прохождения взрывной волной защитной конструкции значительно снижается давление на еѐ фронте. За счѐт этого значительно снижается ударное нагружение на конструкцию операторной станции, и обеспечивается безопасность персонала.

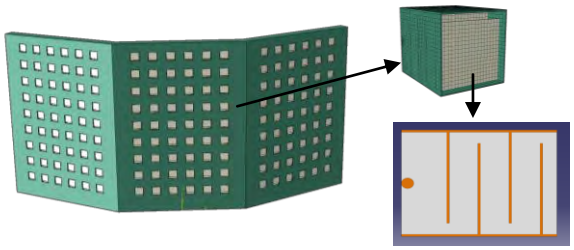

Рис. 1. Конструкция защитного устройства и энергопоглощающего контейнера

Проводится исследование поведения защитного устройства при воздействии воздушной ударной волны. Исследуется степень снижения давления на фронте ударной волны, после прохождения защитного устройства.

При проведении подобного исследования необходимо решения ряда совместных задач газодинамики и прочности. Необходимо установить, насколько эффективно действие защитного устройства при различных параметрах взрывной волны. Так же необходимо установить, каким образом будет происходить деформирование или разрушение энергопоглащающих контейнеров. Форма деформирования контейнеров напрямую влияет на общую эффективность защитного устройства.

Газодинамическое исследование производится с помощью программного комплекса FlowVision. Моделируется обтекание устройства взрывной волной. Исследование разрушения энергопоглощающего контейнера, а так же общей прочности и устойчивости защитного устройства производится с помощью программного комплекса Abaqus Unified FEA.

Для совместного решения задач газодинамики и прочности используется технология совместного решения задач жидкость-конструкция FSI (Fluid-Structure Interaction). С помощью данной технологии производится совместное решение задачи обтекания конструкции взрывной волной и ее деформирования и повреждения.

Исследование разделено на несколько этапов.

На первом этапе исследуется газодинамика контейнера на упрощенной двумерной модели при воздействии фронта взрывной волны без учета деформирования конструкции (FlowVision).

На втором этапе исследуется прохождение фронта взрывной волны через защитное устройство и операторную станцию, при различных конфигурациях конструкции защитного устройства (FlowVision).

На третьем этапе создается прочностная модель энергопоглащающего контейнера, в которой учитываются особенности разрушения данного типа конструкции. (Abaqus)

На четвертом этапе создается создаѐтся связанная FSI модель прохождения фронта взрывной волны через энергопоглощающий контейнер (Abaqus + FlowVision).

На пятом этапе создается окончательная связанная FSI модель, описывающая взаимодействие фронта взрывной волны с деформируемой конструкцией защитного устройства и операторной станцией (Abaqus+FlowVision).

Была создана упрощенная двумерная модель прохождения фронта взрывной волны через энергопоглащающий контейнер. Было произведено исследования снижения значения избыточного давления на каждой из пластин контейнера. Результаты исследования представлены на Рис. 2. На данной модели была доказана эффективность выбранной конструкции контейнера, позволяющая значительно снизить давление на выходе из контейнера.

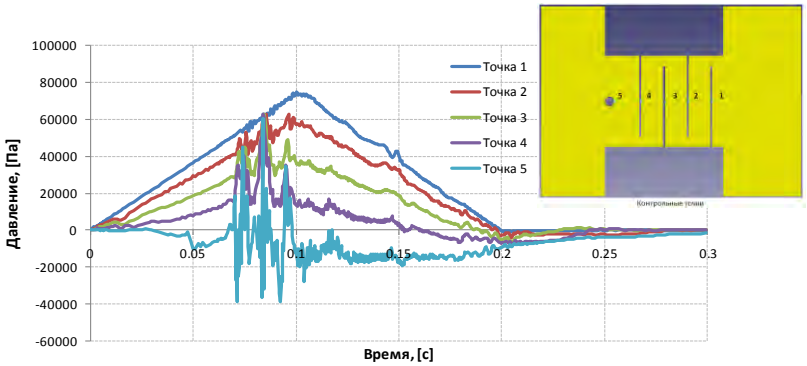

Рис. 2. Изменения значения избыточного давления на фронте ударной волны при прохождении энергопоглощающего контейнера

Была построена прочностная модель контейнера. Нагрузки на пластины задавались соответственно значениям, полученным из газодинамической модели. Особенностью модели является необходимость учета сложных нелинейных эффектов, таких как большие деформации контейнера при воздействии, решение контактных задач (скольжение пластины по боковой стенке контейнера, взаимодействие между пластинами контейнера) а так же решение задачи разрушения сварных швов, с помощью которых пластины крепятся к контейнеру (Рис. 3)

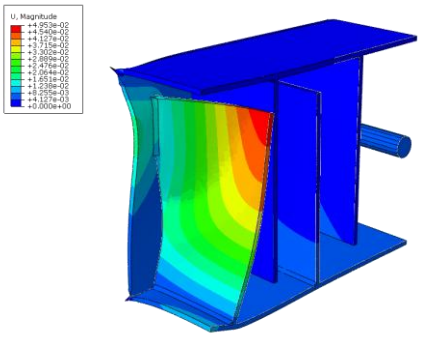

Рис. 3. Деформации контейнера при воздействии фронта взрывной волны.

При совместном решении задачи газодинамики и прочностной задачи существуют ограничения на тип геометрической модели – необходимо использовать элементы сплошной среды. Для адекватного моделирования поведения контейнера был выбран особый тип конечного элемента - Continuum Shell. Данный тип конечного элемента является элементом сплошной среды, но при этом имеет изгибные степени свободы, и таким образом позволяет моделировать поведение пластин и оболочек. Так же с помощью данного элемента возможно моделировать контактную задачу проскальзывания тонкой грани пластины по поверхности.

В результате исследования сформирована методика исследования прочности конструкции при воздействии воздушной взрывной волны, позволяющей оценить ее эффективность по снижению давления на фронте взрывной волны после прохождения конструкции. Подтверждена эффективность выбранной конструкции энергопоглощающего контейнера, получены значения распределения давления на пластинах контейнера по времени. Построена прочностная модель энергопоглощающего контейнера, позволяющая учитывать сложные модели разрушения материалов, нелинейные граничные условия, а так же осуществлять связанные расчѐты типа жидкость-конструкция.