

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ
ЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ
УДАРНОЙ ВОЛНЫ**

AIR BLAST LOADED SAFETY DEVICE DYNAMICAL RESPONSE ANALYSIS

Для обеспечения безопасности оборудования и сооружений при аварийной ситуации с возникновением взрывного разрушающего воздействия фронта ударной волны применяются защитные конструкции. Проверка адекватности конструкций на свое функциональное назначение путем экспериментального моделирования аварийной ситуации является крайне дорогостоящим мероприятием и с масштабированием на реальные объекты требует большого объема опытно-экспериментальных работ с целью выбора соответствующих критериев. В работе рассматривается применение технологий численного моделирования, позволяющих определить конструктивные параметры защитного устройства от различных значений избыточного давления на фронте ударной волны, возникшей в результате дефлаграционного горения парогазовоздушного облака. В процессе моделирования решены газодинамическая, динамическая прочностная, и связанная динамическая задачи «газ-конструкция», позволяющие оценить прочность предложенного защитного устройства и его эффективность. Для решения связанной задачи «газ-конструкция» применялся связанный метод Эйлера-Лагранжа. В результате решения задач определены коэффициенты поглощения защитного устройства, позволяющие количественно оценить эффективность работы как составляющих конструкции защитного устройства гасителей, так и общую эффективность поглощения энергии взрывной волны защитным устройством.

Protective structures are employed to ensure the safety of the equipment and facilities in case of a devastating explosive shock wavefront. Construction verification by experimental simulation of an emergency situation is a very expensive undertaking and being real object-scalable it demands a substantial scope of pilot testing in order to select adequate criteria. The present article considers the application of the computer simulation technology which makes it possible to calculate the design parameters of the protector appliance against the excess pressure of the shock wavefront resulted from the deflagration combustion of a steam-gas-air cloud. Simulation made it possible to solve the gas-dynamic, dynamic strength, and connected dynamic problems "gas-construction" which allow to estimate the strength and efficiency of the suggested protection appliance. Eulerian-Lagrangian method was used to solve the connected problem "gas-construction". As a result, the coefficients of absorption of the protective appliance were determined, which make it possible to estimate the operating efficiency of both the dampener elements and the energy absorption of the explosive shockwave front by the protector.

Ключевые слова: дефлаграция, ударная волна, метод конечных элементов, внутренняя энергия, деформация, защитное устройство, связанный метод Эйлера-Лагранжа.

Key words: deflagration, air blast wave, finite element method, internal energy, deformation, safety devise, Coupled Euler-Lagrange method.

Введение

Оборудование потенциально опасных химических, нефтехимических, нефтегазоперерабатывающих производств значительно изношено. Кроме того, из-за перебоев с сырьем, низкой технологической и трудовой дисциплины и по другим причинам нарушаются регламентные режимы эксплуатации оборудования. Это приводит к снижению надежности и долговечности оборудования и, в свою очередь, к повышению аварийности на производстве. В сложившихся на сегодняшний день экономических условиях предприятия вынуждены эксплуатировать оборудование до их частичного или полного выхода из строя.

Любая аварийная ситуация на предприятии нефтеперерабатывающего, нефтехимического и

**Тропкин С.Н., Тляшева Р.Р.,
Баязитов М.И., Рафикова З.Р.,
Кузеев И.Р.**

**ФГБОУ ВПО «Уфимский
государственный нефтяной
технический университет»
г. Уфа, Российская Федерация**

**S.N. Tropkin, R.R. Tlyasheva,
Z.R. Rafikova, I.R. Kuzeev**

**FSBEI of HPE Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, the Russian Federation**

химического профиля потенциально может привести к поражению персонала производства, соседних предприятий и проживающего в географическом районе расположения предприятия населения. Это отличает предприятия нефтеперерабатывающего, нефтехимического и химического профиля от предприятий некоторых других отраслей, например, машиностроительных производств, аварии на которых, как правило, в силу особенностей технологического процесса не несут опасности для населения и персонала соседних предприятий.

Таким образом, ввиду высокой потенциальной опасности нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств на сегодняшний день актуальна задача обеспечения безопасности функционирования существующих и находящихся на стадии проектирования объектов нефтегазовой отрасли.

**Обеспечение безопасности с помощью
защитного устройства**

Коллективом авторов предложен новый тип защитного устройства, для обеспечения защиты оборудования от воздействия ударных волн [1].

Конструкция защитного устройства представляет собой сварную стальную ячеистую перегородку, состоящую из балочных профилей, стальных листов, и разрушаемых элементов — гасителей. Защитное устройство рассеивает энергию ударной волны за счёт ее частичного отражения, а так же за счёт поглощения энергии ударной волны в специальных ячейках — гасителях.

Гаситель представляет собой набор, особым образом расположенных, стальных листов, формирующих канал типа «гребенка», обеспечивающих при его прохождении снижение давления на неотраженной части фронта ударной волны. При прохождении ударной волны гасители могут упруго-пластически деформироваться, и за счёт этого также обеспечивать поглощение энергии ударной волны. Таким образом, после прохождения взрывной волной защитной конструкции, значительно снижается давление на её фронте. За счёт этого обеспечивается безопасность оборудования и персонала объектов эксплуатации нефтегазовой отрасли.

Защитное устройство представлено на рисунке 1.

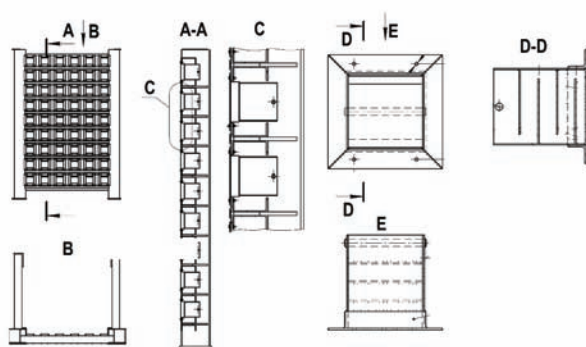


Рисунок 1. Чертеж защитного устройства и гасителя

Методы исследования

Для исследования поведения защитной конструкции необходимо решение связанной задачи газодинамики и прочности. Решение подобной задачи аналитическими и эмпирическими методами является крайне сложным, поскольку необходимо решение связанных нелинейных задач, либо проведение масштабного и крайне дорогостоящего экспериментального исследования.

Совместное решение задач газодинамики и прочности реализуется за счёт проведения совместных связанных расчётов гидрогазодинамики и прочности типа Fluid Structure Interaction (FSI) — реализованного между такими программными комплексами численного моделирования как SIMULIA Abaqus и Flow Vision, Ansys Mechanical и Ansys CFX и др., а также непосредственно в программном комплексе SIMULIA Abaqus.

Достижением последних лет в области численного моделирования является внедрение в универ-

сальные программные комплексы численного моделирования, такие как SIMULIA Abaqus и LS-DYNA, технологии совместного решения задач прочности и гидрогазодинамики — Coupled Euler Lagrange — связанный метод Эйлера-Лагранжа. Данная технология позволяет производить моделирование задач гидрогазодинамики на Эйлеровых сетках и задачи динамической прочности на Лагранжевой сетке в рамках одного пространства решения, и обеспечивая передачу параметров между сетками по типу «давление-перемещение». Данная технология позволяет решать класс задач, в которых обтекание тела напрямую зависит от его текущей деформированной конфигурации.

Для решения задачи анализа воздействия взрывной волны на защитное устройство, и определение его эффективности, а также для оценки степени защищенности объектов выполняются следующие шаги. В программном комплексе Abaqus с помощью явного решателя Abaqus/Explicit создаются и решаются следующие задачи:

1. Создается газодинамическая модель распространения ударной волны;
2. Создается динамическая прочностная модель поведения гасителя;
3. Создается смещенная газодинамическая прочностная модель воздействия ударной волны на защитное устройство и расположенный за ним объект.

Решение полностью связанной задачи взаимодействия ударной волны с конструкцией производится после создания и проверки адекватности газодинамической и прочностной модели - создается единая модель для анализа взаимодействия «газ-конструкция», представленная на рисунке 2.

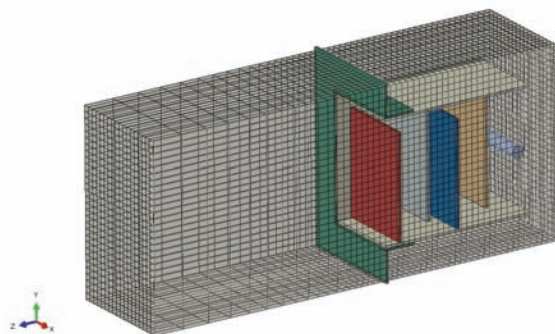


Рисунок 2. Расчётная область по методу Эйлера-Лагранжа

В созданной модели учитываются все граничные условия, характерные для газодинамической и прочностной модели.

Для передачи взаимодействия от газа к конструкции используется технология Основного контакта. Данная технология позволяет автоматически отслеживать контактные взаимодействия в выбранной расчётной области, как между газовой средой и твердым телом, так и между твердыми телами.

Результатом решения задачи являются поля распределения давлений в газовой среде по времени на границах исследуемой конструкции, с учетом изменения формы деформируемых поверхностей, скоростные и температурные характеристики, а так же напряженно-деформированные состояния конструкции от воздействия давления ударной волны.

Постановка задачи

Для проведения исследования на основе расчётной методики [2] и [3] были рассчитаны параметры взрывной волны для объектов III класса опасности, содержащих в себе более 5000 кг взрывоопасных веществ (бензин). Были рассчитаны параметры ударной волны для случая дефлаграции. Параметры ударной волны представлены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры ударных волн

m	R	E (J)	$\Delta P+$	$\Delta P-$	T+ (с)	T- (с)
5000 кг	50	2,2E+11	198 КПа	30 КПа	0,0616	0,204

где R — радиус от эпицентра взрыва, E — эффективный энергозапас горючей смеси, $\Delta P+$ — амплитуда фазы сжатия, $\Delta P-$ — амплитуда фазы разряжения, T+ — длительность фазы сжатия, T- — длительность фазы разряжения.

На рисунках 3 и 4 приведено распределение поля давлений и скоростей при прохождении ударной волны через гаситель защитного устройства.

На рисунке 5 приводятся графики изменения давления в различных точках защитного устройства.

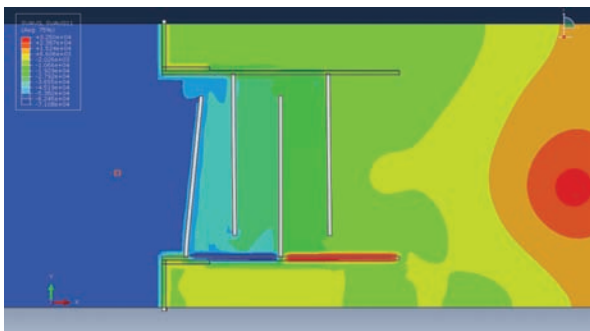


Рисунок 3. Деформированная конфигурация гасителя. Поле давлений

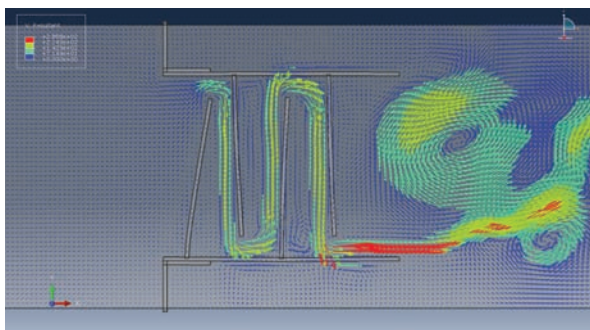


Рисунок 4. Деформированная конфигурация гасителя. Поле скоростей

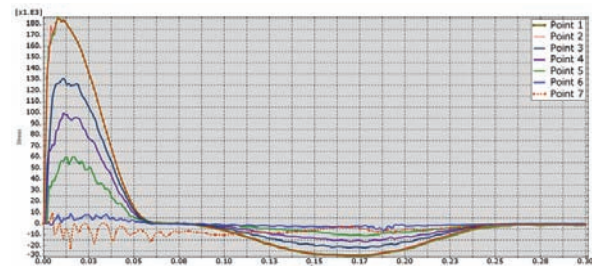
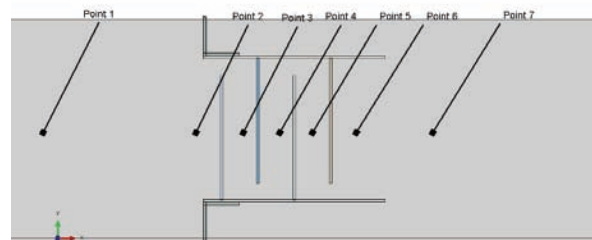


Рисунок 5. Изменение давлений на фронте ударной волны в различных точках гасителя

В таблице 2 приводится максимальная и минимальная величина давления в выбранных для исследования точках. Таким образом, подтверждается эффективность снижения давления на фронте ударной волны прохождения гасителя.

Таблица 2. Давления в выбранных точках гасителя

Амплитуда фазы	Давление						
	1 (КПа)	2 (КПа)	3 (КПа)	4 (КПа)	5 (КПа)	6 (КПа)	7 (КПа)
$\Delta P+$	185	185	132	101	60	8	5
$\Delta P-$	-29	-29	-22	-17	-11	-6	-19

Был выполнен анализ напряженно-деформированного состояния элементов конструкции защитного устройства. НДС и зона пластических деформаций представлена на рисунке 6. При воздействии взрывной волны максимальные напряжения достигают 250 МПа, что соответствует переходу к пластическому деформированию конструкции для использованной в расчёте Стали 3. Зона пластической деформации находится в точке крепления первой пластины гасителя, выделенной на рисунке 6 овалом.

На основе проведенного расчёта вычисляется коэффициент локального поглощения для гасителя $k_{loc} = P_{in} / P_{out}$, где P_{in} — давление на фронте ударной волны до гасителя; P_{out} — давление на фронте ударной волны после прохождения гасителя. Коэффициент локального поглощения для выбранной конфигурации гасителя составил 18.

На основании проведенного исследования гасителя, можно сделать предположение о непроницаемости защитного устройства для ударных волн в рамках выбранных значений вовлеченного взрывоопасного вещества. Таким образом, при исследовании обтекания ударной волной всего защитного устройства, можно сделать допущение о его непроницаемости, то есть можно рассматривать защитное устройство в качестве сплошной стены.

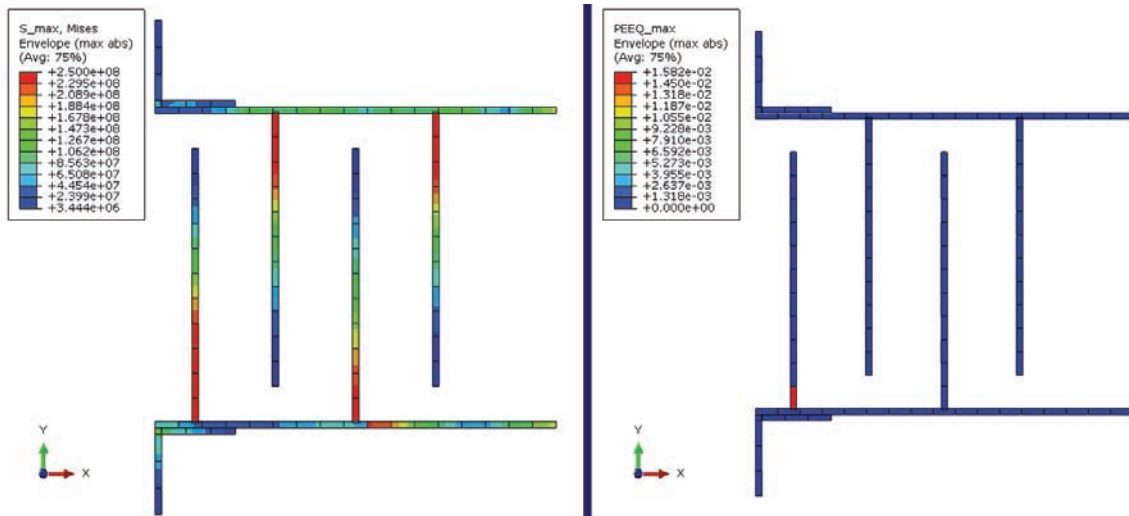


Рисунок 6. НДС и пластические деформации в гасителе

На основе предложенного метода создана модель взаимодействия ударной волны с незащищенным объектом — операторной станцией. Габаритные размеры операторной станции: высота — 4 м, длина — 15 м. Фронтальная стена операторной станции расположена в 65-ти метрах от места взрыва. Картина воздействия волны на операторную станцию представлена на рисунке 7.

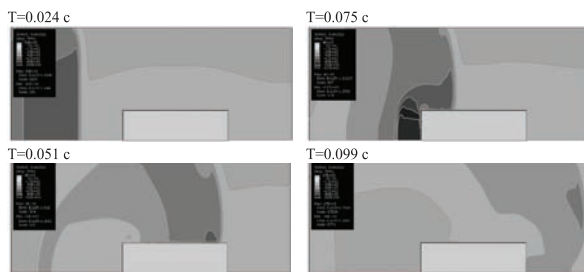


Рисунок 7. Взаимодействие ударной волны с операторной по времени

Распределение давлений имеет несколько характерных зон. Зона срыва потока — точка, в которой развивается максимальное давление от действия ударной волны. Центральная часть поверхности — основная часть поверхности, в которой распределение давлений равномерно.

Оценивались максимальные значения величины избыточного давления ударной волны, действующие на переднюю стену, крышу и заднюю стену здания и зоны срыва потоков. Величины давлений представлены в таблице 3.

Таблица 3. Давление ударной волны на различные зоны конструкции

Зоны конструкции	Свободно стоящая операторная
Фронтальная стена	125 КПа
Крыша	62 КПа
Задняя стена	36 КПа

Согласно [2] давления, превышающие 100 КПа, приводят к полному разрушению здания. Таким образом, в текущей конфигурации операторная будет разрушена. Для обеспечения безопасности операторной необходимо снизить приходящее на нее давление от ударной волны.

На основе предложенного метода производится расчёт взаимодействия ударной волны с защитным устройством и операторной. Исследовались различные варианты высоты защитного устройства — 4 м; 5,5 м; 7 м; 8,5 м и варианты расположения защитного устройства относительно защищаемого объекта — на расстоянии 2 м; 4 м; 6 м; 8 м; 10 м; 12 м.

В результате исследования были определены зависимости давлений на защитное устройство и операторную станцию от высоты защитного устройства и расстояния между защитным устройством и фронтальной стеной операторной, представленные на рисунках 8-9. С помощью полученных зависимостей возможно производить оценку безопасности защищаемого объекта в зависимости от конструктивных параметров и расположения защитного устройства. На основе результатов моделирования были определены значения коэффициента глобального поглощения давления ударной волны защитным устройством в зависимости от конструктивных параметров защитного устройства и его расположения, представленные на рисунке 7.



Рисунок 7. Зависимость глобального коэффициента поглощения от конструктивных параметров и расположения защитного устройства

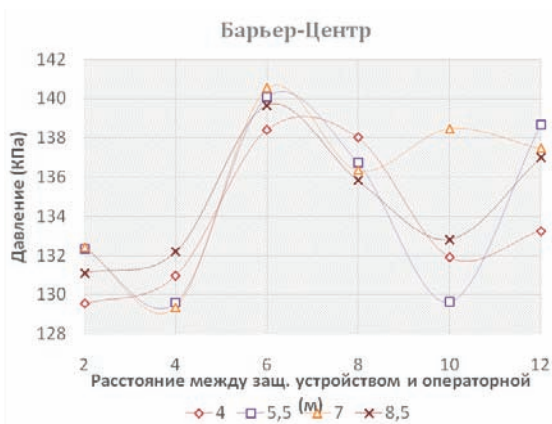


Рисунок 8. Зависимость давления ударной волны на защитное устройство от его высоты и расположения относительно операторной, в центре фронтальной поверхности защитного устройства

Выводы

В результате проведенных исследований была подтверждена эффективность предложенной конфигурации гасителя защитного устройства. Предложен метод построения и оценки адекватности численной модели воздействия ударных волн на конструкцию на основе метода Эйлера-Лагранжа для тех случаев, когда обтекание конструкции в конкретный момент времени зависит от его текущей деформированной конфигурации, а число поверхностей, по которым происходит взаимодействие воздушного потока и конструкции велико.

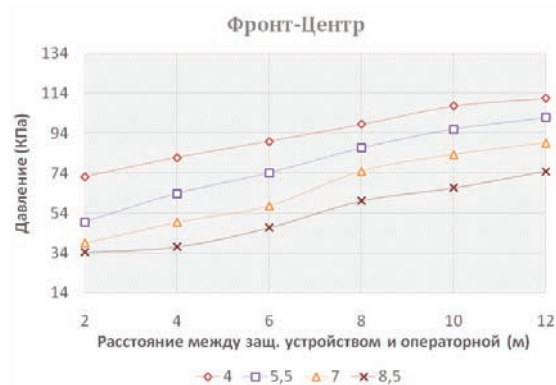


Рисунок 9. Зависимость давления фронта ударной волны на операторную станцию в центральной точке фронтальной плоскости от высоты и расположения защитного устройства

С помощью предложенного метода возможно определение давлений на фронте ударной волны, прошедшей через гаситель, а также значений давлений при воздействии ударной волны на оборудованные предприятия. Предложены коэффициенты поглощения для защитного устройства, позволяющие количественно оценить общую эффективность его работы, в том числе, с учетом составляющих конструкцию гасителей.

СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Обеспечение защищенности операторной нефтеперерабатывающего предприятия от воздействия ударной волны / Тропкин С.Н. и др. // Мировое сообщество: проблемы и пути решения. Уфа: УГНТУ, 2011. Т. 30. С. 71-73.
2. РД 03-409-01 Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей. Утверждена постановлением Госгортехнадзора России от 26.06.01 № 25. 16 с.
3. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств (ПБ 09-540-03). М.: ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2003. 125 с.

REFERENCES

1. Tropkin S.N., Tlyasheva R.R., Bayazitov, M.I. Smolnikov, O.L. Kryzhanovsky the security control room of a refinery from the impact of a shock wave // World community: issues and solutions. Ufa: UGNTU, 2011. 30. С. 71-73. [in russian].

2. KMG 03-409-01 Methodology of assessment of the consequences of the accidental explosion of the fuel-air mixtures. Approved by the resolution of the Gosgortekhnadzor of Russia of 26.06.01 N 25. [in russian].
3. General rules of explosion protection for the explosive chemical, petrochemical and petroleum refining industries (PB 09-540-03) / Call. AVT.M: GUP NTC Industrial safety», 2003.125C. [in russian].

Тропкин С.Н., старший инженер ООО «ТЕСИС», аспирант ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация
S.N. Tropkin, Senior Engineer of TESIS Ltd, Post-Graduate of FSBEI HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

Тляшева Р. Р., д-р техн. наук, проф. кафедры «Технологические машины и оборудование», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация
R.R. Tlyasheva, Dr of Tech. Sci., Prof. of Department «Technological machines and equipment», FSBEI of HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

Баязитов М. И., канд. техн. наук, доцент кафедры «Технологические машины и оборудование», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация
M. I. Bayazitov, Cand. of Tech. Sci., Associate Prof. of Department «Technological Machines and Equipment», FSBEI of HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

Рафикова З.Р. магистрант кафедры «Технологические машины и оборудование», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация
Z.R. Rafikova, Undergraduate of Department «Technological Machines and Equipment», FSBEI of HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

Кузеев И. П., д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Технологические машины и оборудование», ФГБОУ ВПО УГНТУ г. Уфа, Российская Федерация
I. R. Kuzeev, Dr of Tech. Sci., Prof., Head of Department «Technological Machines and Equipment», FSBEI of HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

e-mail: sergey.n.tropkin@gmail.com

S.N. Tropkin, R.R. Tlyasheva,
M. Ikh. Bayazitov,
Z.R. Rafikova, I.R. Kuzeev
FSBEI of HPE Ufa State
Petroleum Technological
University
Ufa, the Russian Federation

Тропкин С.Н., Тляшева Р.Р.,
Баязитов М.И.,
Рафикова З.Р., Кузеев И.Р.
ФГБОУ ВПО «Уфимский
государственный нефтяной
технический университет»
г. Уфа, Российская
Федерация

Protective structures are employed to ensure the safety of the equipment and facilities in case of a devastating explosive shock wavefront. Construction verification by experimental simulation of an emergency situation is a very expensive undertaking and being real object-scalable it demands a substantial scope of pilot testing in order to select adequate criteria. The present article considers the application of the computer simulation technology which makes it possible to calculate the design parameters of the protector appliance against the excess pressure of the shock wavefront resulted from the deflagration combustion of a steam-gas-air cloud. Simulation made it possible to solve the gas-dynamic, dynamic strength, and connected dynamic problems "gas-construction" which allow to estimate the strength and efficiency of the suggested protection appliance. Eulerian-Lagrangian method was used to solve the connected problem "gas-construction". As a result, the coefficients of absorption of the protective appliance were determined, which make it possible to estimate the operating efficiency of both the dampener elements and the energy absorption of the explosive shockwave front by the protector.

Для обеспечения безопасности оборудования и сооружений при аварийной ситуации с возникновением взрывного разрушающего воздействия фронта ударной волны применяются защитные конструкции. Проверка адекватности конструкций на свое функциональное назначение путем экспериментального моделирования аварийной ситуации является крайне дорогостоящим мероприятием и с масштабированием на реальные объекты требует большого объема опытно-экспериментальных работ с целью выбора соответствующих критериев. В работе рассматривается применение технологий численного моделирования, позволяющих определить конструктивные параметры защитного устройства от различных значений избыточного давления на фронте ударной волны, возникшей в результате дефлаграционного горения парогазовоздушного облака. В процессе моделирования решены газодинамическая, динамическая прочностная, и связанная динамическая задачи «газ-конструкция», позволяющие оценить прочность предложенного защитного устройства и его эффективность. Для решения связанной задачи «газ-конструкция» применялся связанный метод Эйлера-Лагранжа. В результате решения задач определены коэффициенты поглощения защитного устройства, позволяющие количественно оценить эффективность работы как составляющих конструкцию защитного устройства гасителей, так и общую эффективность поглощения энергии взрывной волны защитным устройством.

Key words: deflagration, air blast wave, finite element method, internal energy, deformation, safety devise, Coupled Euler-Lagrange method.

Ключевые слова: дефлаграция, ударная волна, метод конечных элементов, внутренняя энергия, деформация, защитное устройство, связанный метод Эйлера-Лагранжа.

Introduction

Equipment of many chemical, petrochemical, oil and gas processing plants in Russian Federation is considerably worn-out. Besides, equipment exploitation regimes very often disrupted by hold-up in work materials delivery, low technological and manufacturing discipline etc. This factors cause decrease of reliability and durability of equipment, and rise of accident rate. In current economic situations, companies forced to use equipment until it partial of full outage.

Any accident on chemical, petrochemical, or oil & gas processing plant can cause a harm of personnel involved in production, harm the nearby plants personnel and civilians. This feature distinguish chemical and oil & gas plants from other industries plants, which usually

do not cause risk to surrounding objects in case of extreme situation. Thereby, due to high potential danger of petrochemical and oil & gas plants, the problem of safeguarding for such objects is actual.

An air explosion is the one of the most dangerous cases for plants in oil and gas industry, usually caused by uncontrolled emission and inflammation of oil products. Very often constructions used in oil plants cannot sustain such disaster, because they designed without consider of air explosion loading or became depreciated. Air explosion can lead to significant danger for life and health of plant staff, so it needs necessity of safety device usage.

Usually that type of construction is operating station, which controls most of processes at oil plant, and where most of plant staff are present. Reconstruction of such stations required great amount of time, and could bring financial losses due to the plant idle. In such case, most reasonably is using protective devices instead of reconstruction. Air explosion danger for such buildings as operation stations, may be significantly reduced by corresponding safety device.

Safety device features

Team of authors developed new type of protective device, which are able significantly reduce shock wave front pressure excess and thus reduce blast loading for operational station [1].

Safety device of the special dampers, mounted on frame made from I-beams. Device designed to disseminate the blast wave energy by partial reflection and scatter in the extinguishers.

Damper designed as welded box with specially oriented steel plates inside, which shape comb-like channel inside the box. This comb-like channel cause the blast wave reflection between plates and decrease the overpressure. Damper also can decrease wave energy by its dissipation to elastic-plastic deformation due to plate collapse. This two energy dissipation mechanism allow to gradually decreasing wave overpressure.

Safety devise sketch is shown on figure 1.

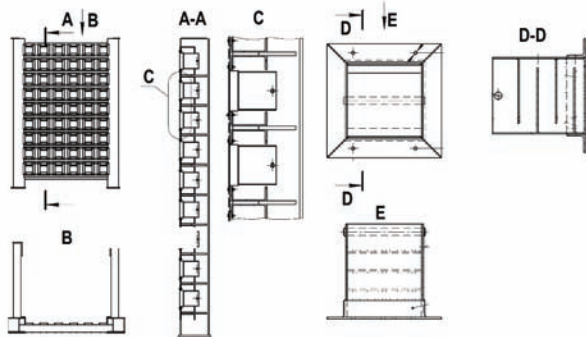


Figure 1. Safety device and extinguisher sketch

Research method

To analyze safety devise behavior under blast load we must solve coupled flow dynamic and dynamic stress problems. Analysis of such problem with analytical methods is complicated due to necessity of solution of large amount of coupled nonlinear problems, and an empirical method is complicated due to cost of experiments involving blast waves.

To find such coupled solution, numerical simulation model need to be made. Coupled solution of fluid structure interaction can be solved in such analysis software like SIMULA Abaqus and FlowVision, Ansys Mechanical and Ansys CFX etc, or directly in Abaqus FEA software.

One of most convenient techniques to analyze fluid-structure interaction problems is to use Coupled Euler Lagrange analysis method, which implemented in FEA software like Abaqus and LS-DYNA. This method allows simultaneously model coupled dynamic flow and stressing problem in single solution space.

It is necessary to determine efficiency of protective device due to blast waves loading with different parameters. In addition, it is necessary to determine deformation or collapse behavior of damper — its

deformation behavior directly affects the efficiency of shock wave energy reduction.

Simulation for such analysis made with Abaqus/Explicit solver, and divided to the following steps:

1. Flow simulation of blast wave propagation through the media.
2. Dynamic stress simulation of the damper.
3. Coupled fluid-structure interaction simulation of blast wave propagation through the deformable extinguisher.

Step 1 and 2 necessary to verify fluid and dynamic stress simulation. Coupled model completely assembled after such verification. Combination for Coupled Euler-Lagrange analysis shown on figure 2.

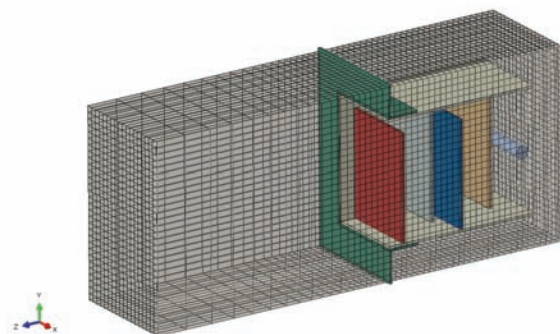


Figure 2. Coupled Euler-Lagrange simulation model

General contact technology used to transfer pressures and mesh motions between flow and dynamic strength analysis. This technology allow to automatically tracking interaction surfaces in simulation media.

Is result of simulation achieved the pressure distribution in gas media and plastic deformations in extinguisher.

Research results

For the analysis of safety device and its extinguishers blast wave parameters defined under the regulation methodic [2] and [3]. Risk class 3 objects containing 5000 kg of gasoline selected for analysis. Calculated deflagration wave parameters shown on figure 3.

Figure 3. Blast wave parameters

m	R	E (J)	$\Delta P+$	$\Delta P-$	T+ (с)	T- (с)
5000 кг	50	2,2E+11	198 KPa	30 Kpa	0,0616	0,204

Where R — distance from explosion canter, E — effective explosion energy, $\Delta P+$ — positive wave peak overpressure, $\Delta P-$ — negative wave pressure, T+ — positive wave duration, T — negative wave duration.

Pressure and velocity distribution in gas media shown on figure 4 and 5. Pressure distribution diagram for different points in extinguisher shown on figure 6.

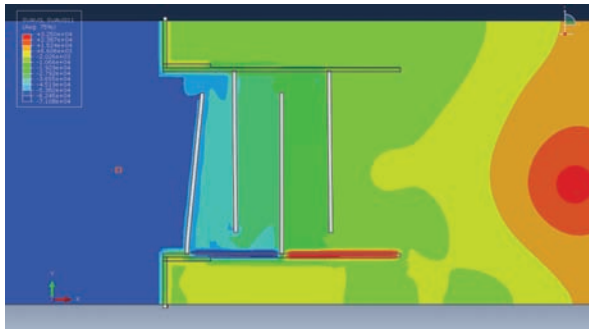


Figure 4. Pressure distribution over deformed damper.

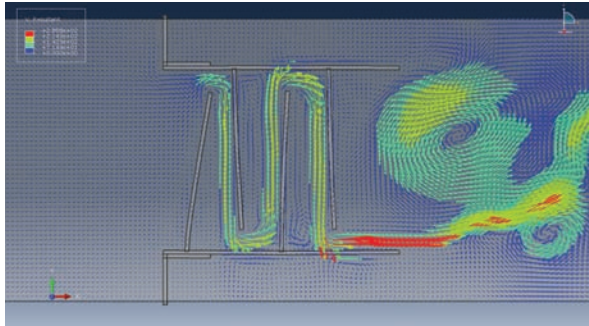


Figure 5. Flow velocity distribution over deformed damper.

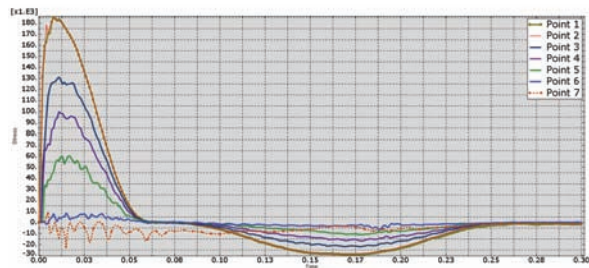
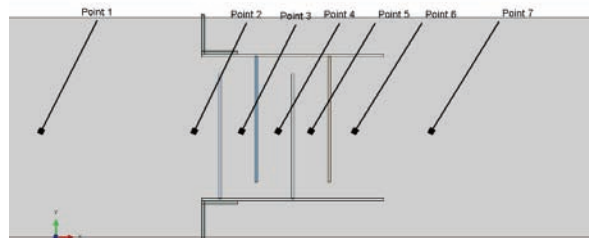


Figure 6. Overpressure distribution in various points in damper.

Figure 7 show the values of minimum and maximum pressure measured in damper points. Achieved values show that over pressure gradually decreased.

Figure 7. Overpressure in selected points.

	1 (KPa)	2 (KPa)	3 (KPa)	4 (KPa)	5 (KPa)	6 (KPa)	7 (KPa)
$\Delta P+$	185	185	132	101	60	8	5
$\Delta P-$	-29	-29	-22	-17	-11	-6	-19

Stress analysis of damper made. Plastic deformation point shown on figure 9. Maximum stress achieved in model is 250 MPa, which lead to yielding of Steel 3 material. Yielding point located in channel plate attachment point.

Pressure reduction coefficient k_{loc} calculated for damper. Coefficient determined as $k_{loc} = P_{in}/P_{out}$, where P_{in} — pressure before extinguisher; P_{out} — pressure after extinguisher. Pressure reduction coefficient for analyzed extinguisher design is 18.

Achieved results let us made a hypothesis that safety devise is impenetrable for blast wave with selected parameters, and consider protective devise as continuous wall. This assumption allow us considerably decrease size of safety devise blast wave interaction simulation. For further steps safety device considered as rigid — stress analysis of full devise for acting pressure will made after the full analysis.

To determine the overpressure level acting on operation station structure, simulation model of blast wave interaction with building made. Sizes of the building is following: height — 4 meters, length — 15 meters. Explosion occurs in 65 meters away from building front wall. Blast wave interaction with building shown on figure 10.

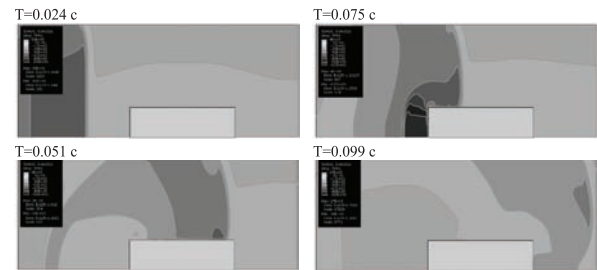


Figure 10. Blast wave interaction with unprotected building

Pressure distribution over the building divided to specific areas: Flow separation area — areas near the edges of building walls; wall central area — area in the center of wall where pressure distribution is regular. Overpressure values for considered areas was achieved in simulation, and provided on figure 11.

Figure 11. Overpressure on specified building areas

	Pressure
Maximum of building	178 KPa
Front wall	125 KPa
Roof	62 KPa
Back wall	36 KPa

Due to regulation [2] overpressure higher that 100 KPa lead to complete destruction of buildings. Hence, it is necessary to decrease overpressure on operational station wall.

Simulation model with building covered by safety devise made. Safety devise with following parameters is analyzed:

- Safety device height — 4 m., 5.5 m., 7 m., 8.5 m.
- Device location distance from building — 2 m., 4 m., 6 m., 8 m., 10 m., 12 m.

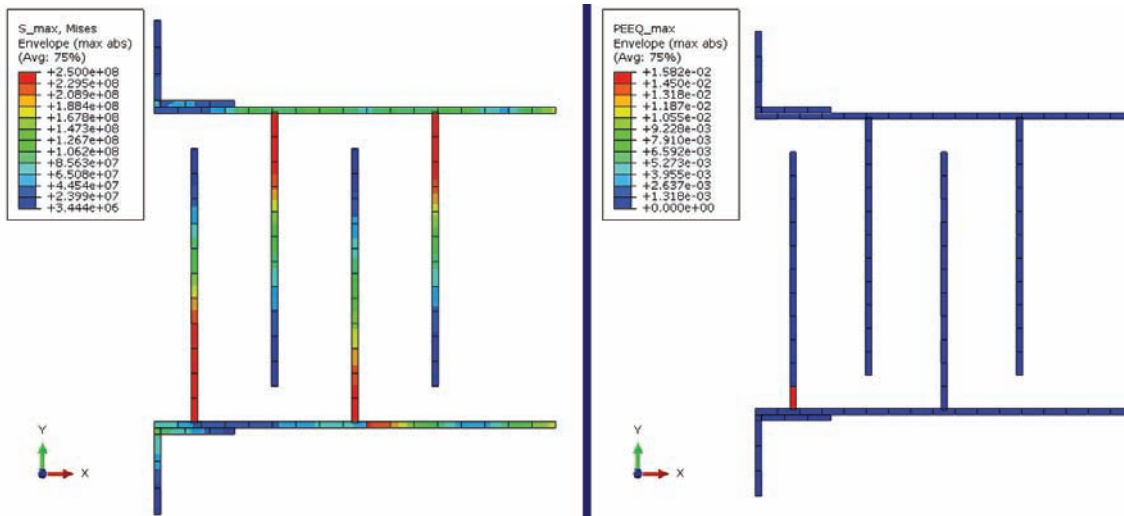


Figure 9. Stress and equivalent plastic strains distribution in damper

Results of simulation organized in diagrams, which show pressure-height-distance dependence. Achieved diagrams allow to preliminary design the safety device parameters to protect the building with similar sizes from blast load with similar parameters. Global pressure reduction coefficient (GPRC) diagram shown on figure 12. Pressure diagrams for different areas shown of figures 13 and 14.

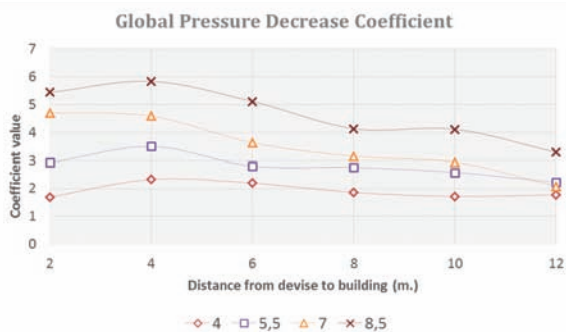


Figure 12. GPRC dependence from device height and distance from protected structure

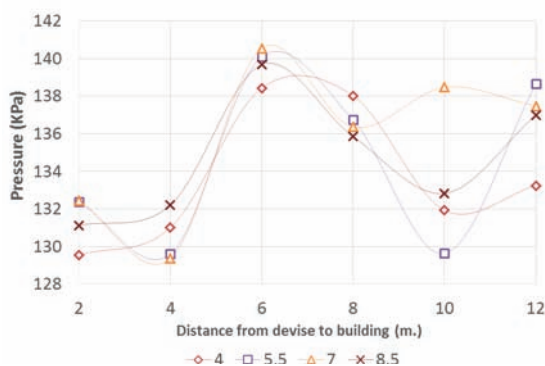


Figure 13. Pressure on device front wall dependence from device height and distance from protected structure

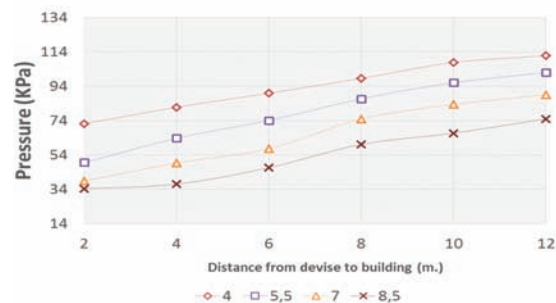


Figure 14. Pressure on building front wall dependence from device height and distance from protected structure

Conclusion

Achieved results confirm that safety device can decrease overpressure due to blast wave load on protected structures. This allows putting the device on existing oil & gas plants, instead of rebuilding of existing infrastructure.

Provided method allows designing and analyzing safety device for different blast wave parameters. Coupled Euler-Lagrange allow to model coupled simulation of blast wave interaction with damper. This method also may be used for approximate analysis of blast loads acting on protective device.

REFERENCES

1. Ensuring security and other refinery operator from the effects of shock wave / Tropkin S.N. and others // The world community: problems and solutions. Ufa UGNTU, 2011. T. 30. P. 71-73.

2. RD 03-409-01 Metodica otsenki posledstviy avariinih vzrivov toplivo-vozdushnih smesey. Utverzdена postanovleniyem Rostekhnadzora Rossii 26.06.01. P. 16

3. PB-09-540-03 Obshie pravila v z r i v o b e z o p a s n o s t i d l y a v z r y v o p o z h a r o o p a s n i h h e m i c h e s k i h , n e f t e h i m i c h e s k i h i n e f t e p e r e r a b a t i v a u s h i c h p r o i z v o d s t v . Moscow, GUP "NTC "Promyshlennaya bezopasnost", 2003.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Обеспечение защищенности операторной нефтеперерабатывающего предприятия от воздействия ударной волны / Тропкин С.Н. и др. // Мировое сообщество: проблемы и пути решения. Уфа: УГНТУ, 2011. Т. 30. С. 71-73.

2. РД 03-409-01 Методика оценки последствий аварийных взрывов топлив-

но-воздушных смесей. Утверждена постановлением Госгортехнадзора России от 26.06.01 № 25. 16 с.

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

S.N. Tropkin, Senior Engineer of LLC Tesis, Post Graduate Student of FSBEI of HPE Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, the Russian Federation
Тропкин С.Н., старший инженер ООО «ТЕСИС», аспирант ФГБОУ ВПО УГНТУ, г.Уфа, Российская Федерация

R.R. Tlyasheva, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Chair of Production Machines and Equipment, FSBEI of HPE Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, the Russian Federation
Тляшева Р. Р., д-р. техн. наук, профессор кафедры «Технологические машины и оборудование», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г.Уфа, Российская Федерация

M.I. Bayazitov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Chair of Production Machines and Equipment, FSBEI of HPE Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, the Russian Federation
Баязитов М. И., канд. техн. наук, доцент кафедры «Технологические машины и оборудование», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г.Уфа, Российская Федерация

Z.R. Rafikova, Master Student of the Chair of Production Machines and Equipment, FSBEI of HPE Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, the Russian Federation
Рафикова З. Р. магистрант кафедры «Технологические машины и оборудование», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г.Уфа, Российская Федерация

I. R. Kuzeev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of "Production Machines and equipment" chair, FSBEI of HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation
Кузеев И. Р., д-р. техн. наук, профессор, заведующий кафедры «Технологические машины и оборудование», ФГБОУ ВПО УГНТУ г.Уфа, Российская Федерация

e-mail: sergey.n.tropkin@gmail.com
e-mail: sergey.n.tropkin@gmail.com