

УДК 614.3;539.3/6

**ПРИМЕНЕНИЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА
К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ
АППАРАТОВ КОЛОННОГО ТИПА С ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ
ОБВЯЗКОЙ В АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ**

**APPLICATION OF FINITE ELEMENT ANALYSIS FOR SOLVING
ISSUES OF FORECASTING BEHAVIOR OF VERTICAL VESSELS
WITH PROCESS PIPING IN EMERGENCY SITUATIONS**

Гостенова Е. А., Тляшев И. Р.

**Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация**

E. A. Gostenova, I. R. Tlyashev

**Ufa State Petroleum Technological University,
Ufa, Russian Federation**

e-mail: rezedat@gmail.com

Аннотация. Вторая половина двадцатого века стала временем активного развития такой прикладной научной дисциплины, как промышленная безопасность. Это было связано, в первую очередь, с ростом промышленного производства, повышением его концентрации, усложнением технологий, использованием широкой номенклатуры новых видов веществ, участвующих в технологических процессах, и др. Все это привело к тому, что происходящие техногенные аварии стали носить все более катастрофический характер, оказывая пагубное воздействие на здоровье людей и окружающую природную среду.

Авариям на предприятиях нефтегазовой отрасли характерны большие объемы выброса взрывопожароопасных веществ, образующие облака топ-

ливно-воздушных смесей, разливы нефтепродуктов и как следствие – пожары, взрывы, разрушение аппаратов и целых установок.

На сегодняшний день остаются слабо освещенными вопросы, относящиеся к практическому расчету последствий аварий с учетом динамических факторов, влияющих на прочность и устойчивость конструкций под действием внешних факторов, в том числе, при взрыве.

Проведение точного численного эксперимента способно существенно повысить безопасность объекта и сэкономить время и ресурсы на проведении натурных экспериментов при проектировании новых объектов, а также уменьшить аварийность существующих объектов.

В статье с применением численных методов, разработана модель динамического поведения колонны с трубопроводной обвязкой при воздействии ударной взрывной волны в полной трехмерной постановке с учетом многофакторного нагружения и детализации геометрии объекта. Аналитически получены характерные изменения распределения пластических деформаций в различных элементах рассматриваемой системы в зависимости от направления действия взрывной волны.

Abstract. Second half of the twentieth century became the time of active development of such applied academic discipline as industrial safety. First of all it was connected with the industrial-production growth, increase of its concentration, complication of technologies, application of wide range of new types of substances taking part in processing procedures and so on. All of this resulted in a situation where occurring technogenic accidents possess increasingly cata.

Accidents at the enterprises of oil and gas industry usually result in high volume emissions of explosion and fire hazardous substances which generate fuel-air mixture clouds, petroleum products spills and as a result – fires, explosions, failure of vertical vessels and whole installations.

Nowadays issues related to practical calculation of accidents consequences, taking into account dynamic factors affecting strength and stability of structures

under the influence of external factors, including explosion, are still poorly covered.

Performance of precise numerical experiment can significantly improve safety of the facility and save time and resources, required for carrying out live experiments, for designing new facilities, moreover it can reduce accident risk of existing facilities.

The article contains development with the application of numerical methods of the model of dynamic behavior of vertical vessel with process piping under the influence of shockwave effect in full three meters positioning and taking into account multifactorial loading and detalization of object geometry. Typical changes of plastic strains distribution in different elements of the considered system, depending on the direction of shockwave effect, were analytically obtained.

Ключевые слова: промышленная безопасность, аппараты колонного типа, технологические трубопроводы, ударная взрывная волна, конечно-элементный анализ.

Key words: industrial safety, vertical vessels, process piping, explosion shockwave, finite element analysis.

Основным технологическим оборудованием промышленных объектов являются аппараты колонного типа с обвязкой трубопроводов, обеспечивающих взаимосвязь между отдельными единицами оборудования. 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 1.

Анализ статистической информации об авариях, связанных со взрывами, показал, что в случае разрушения аппарата колонного типа такие аварии чреваты тяжелыми последствиями, сопровождающимися поражением людей и разрушением окружающих промышленных объектов [2, 3, 4].

На сегодняшний день остаются слабо освещенными вопросы, относящиеся к практическому расчету последствий аварий с учетом динамических факторов, влияющих на прочность и устойчивость конструкций под действием внешних факторов, в том числе, при взрыве [5].

Существующие методы исследования поведения колонных аппаратов при действии взрывной волны, как правило, основаны на упрощенном представлении колонного аппарата, жестко заземленного у основания. Метод конечных элементов, в силу своей универсальности, особенно эффективен, поскольку позволяет решать задачи в трехмерной постановке с любой детализацией объекта исследования и любыми типами прилагаемых нагрузок, как статических, так и динамических, а также позволяет применять реальные модели поведения материалов, в которых свойства материала зависят от температуры, скорости деформаций и пр. Метод позволяет учесть все виды нелинейности, как физической, так и геометрической. Появление и развитие новых программных комплексов, основанных на конечно-элементном анализе, а также мощной компьютерной техники позволяет существенно продвинуться в более детальном изучении рассматриваемой проблемы с учетом многофакторного нагружения и детализации геометрии объекта. Проведение точного численного эксперимента способно существенно повысить безопасность объекта и сэкономить время и ресурсы на проведении натуральных экспериментов при проектировании новых объектов, а также уменьшить аварийность существующих объектов [6,7,8].

В настоящее время проведен ряд научных исследований в области расчетов аппаратов колонного типа при воздействии взрывной ударной волны.

В работе [4] создана методика расчета в полной трехмерной постановке статического состояния и динамического поведения колонны при воздей-

ствии ударной взрывной волны, с учетом свойств грунта и модели поведения материала болтов, с использованием метода конечных элементов.

Одним из недостатков этих научных исследований является то, что они не учитывали взаимосвязь аппаратов колонного типа с технологической трубопроводной обвязкой, в свою очередь, когда колонна, обвязанная трубопроводами, имеет дополнительное нагружение, что влияет на ее устойчивость при воздействии ударной взрывной волны.

В этой связи актуальным становится решение задач в области определения прочности и устойчивости аппаратов колонного типа с обвязкой трубопроводов при действии внешнего взрыва с учетом динамических факторов.

Модель аппарата колонного типа с обвязкой трубопроводов состоит из следующих элементов (рисунок 1)

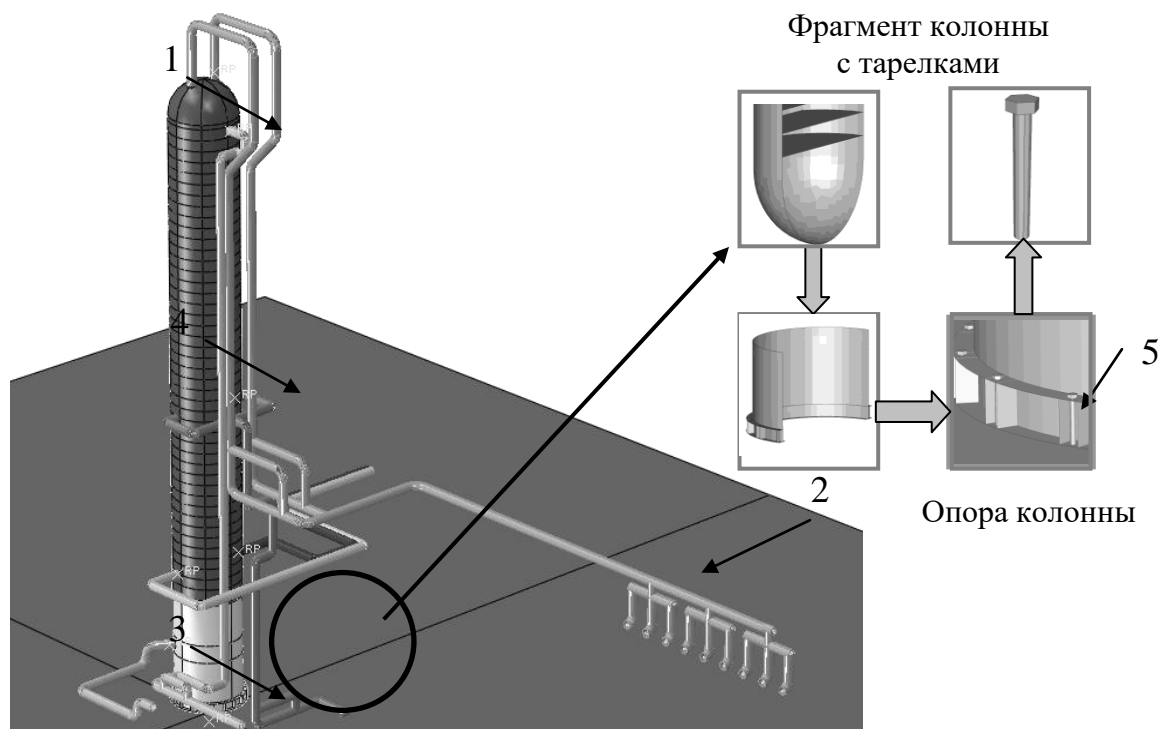


Рисунок 1. Геометрическая модель колонны:

1 - колонна, 2 - трубопроводная обвязка колонны, 3 - опора,
 4 - массообменные тарелки, 5 - анкерные болты, с помощью которых опора крепится к бетонному фундаменту

Для моделирования принято, что колонна представляет единое тело без сварных швов, а трубопроводная обвязка – единую трубу без учета сварных соединений.

Учитывалось, что фундаментные болты жестко заделаны в фундамент. При решении динамической задачи, фундамент задавался неподвижным, а нижняя грань каждого болта жестко закреплялась к фундаменту.

Исследование воздействия ударной волны на колонну с трубопроводной обвязкой предполагает, что до момента взрыва оборудование работает в штатном режиме. Схема нагружения и граничных условий показана на рисунке 2.

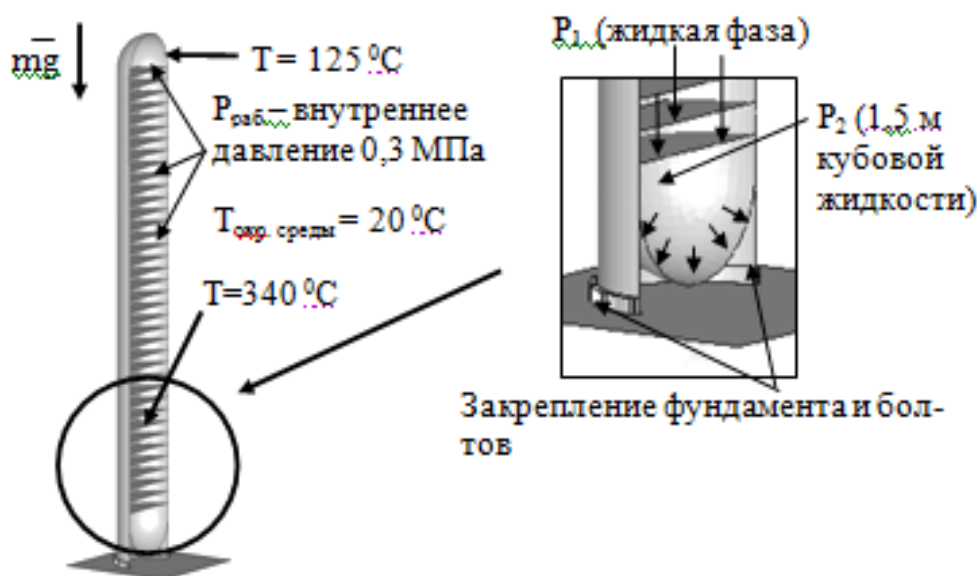


Рисунок 2. Схема статического нагружения граничных условий и контактного взаимодействия в задаче статического нагружения

С учетом преднагруженного состояния модели, на колонну с трубопроводной обвязкой прилагалась распределенная нагрузка от действия ударной волны, действующая с определенной амплитудой. Нагрузки на трубопроводы задавались с учетом подверженности трубопроводной обвязки воздействию взрывной волны в зависимости от направления действия взрывной волны, т.е. аэродинамической тени. Соответственно, участки трубопроводов, попадающие в аэродинамическую тень колонны, в расчёте не учитывались (рисунок 3).

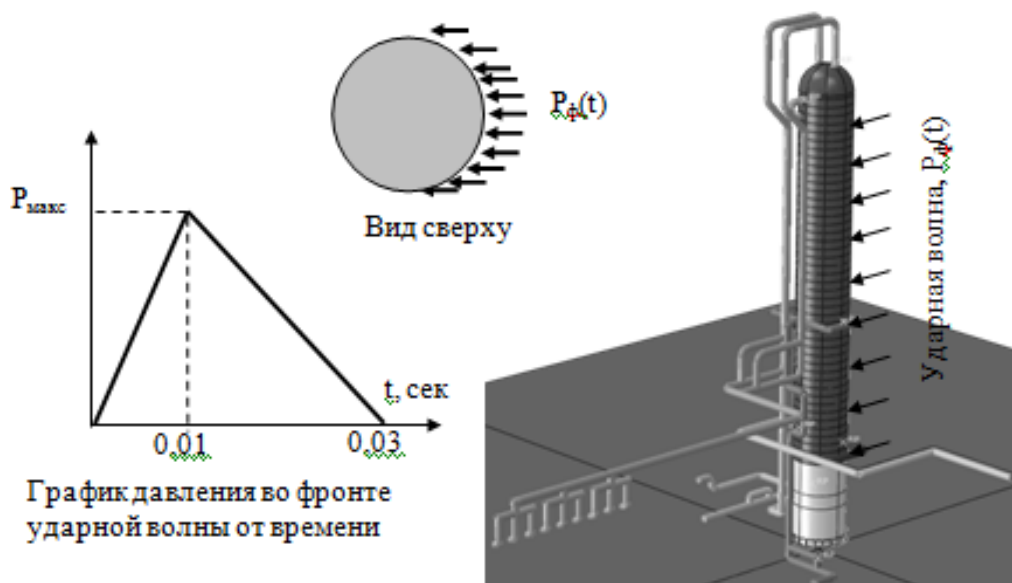


График давления во фронте ударной волны от времени

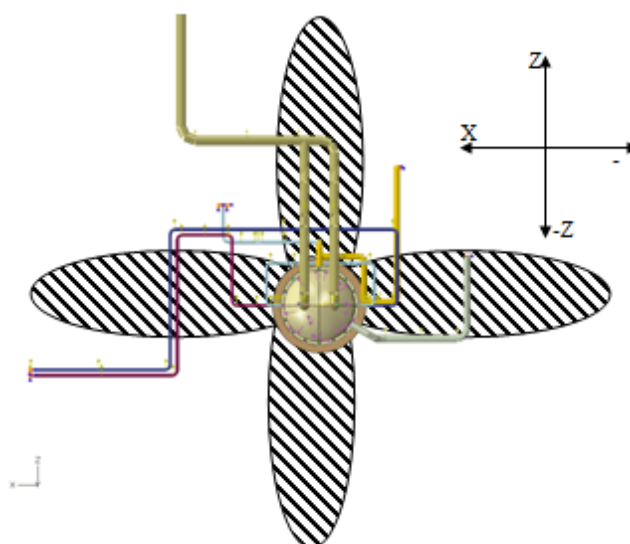


Рисунок 3. Схема приложения нагрузки от действия ударной волны с учетом аэродинамической тени

Результаты численных экспериментов представлены на рисунках 4 и 5.

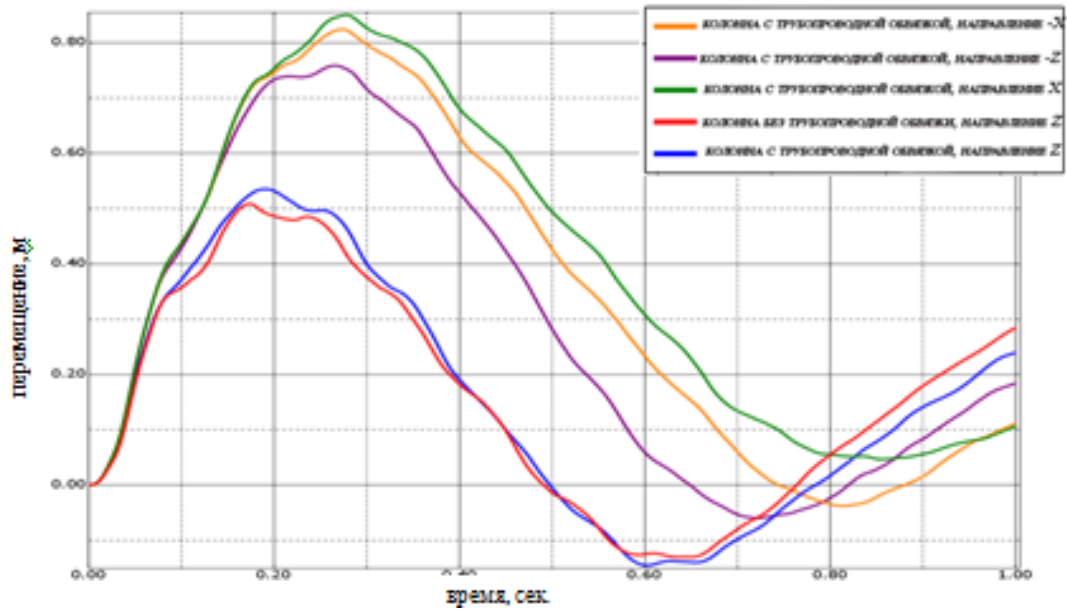


Рисунок 4. Перемещение вершины колонны в направлении действия взрывной волны

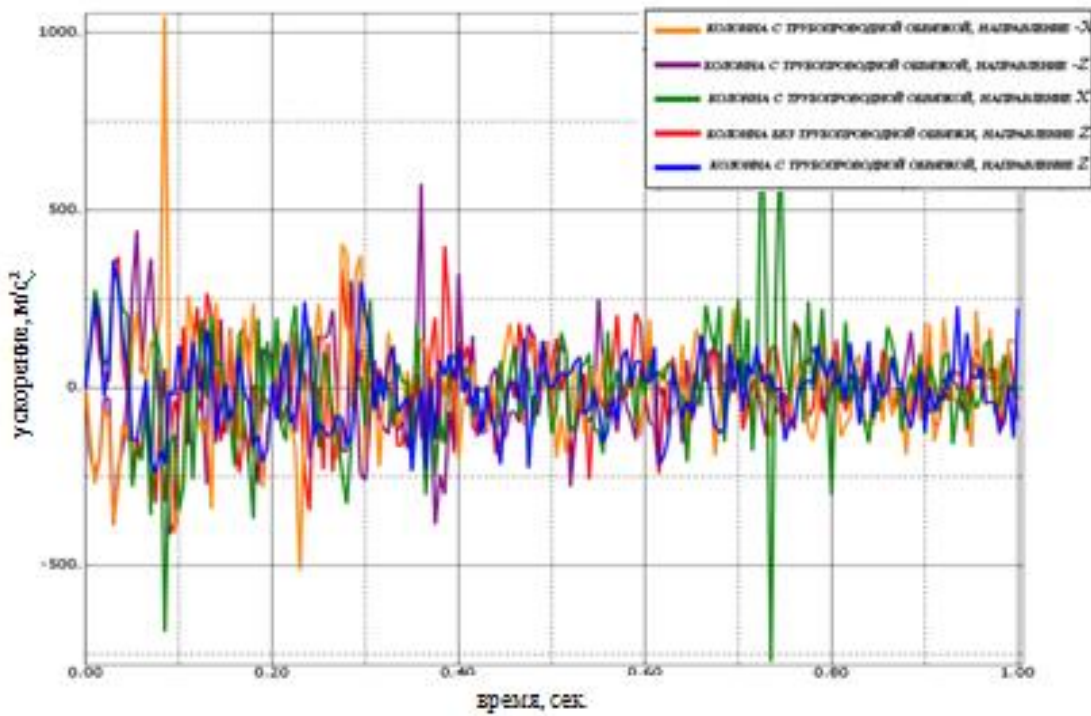


Рисунок 5. Ускорение вершины колонны в направлении действия взрывной волны

На основании анализа результатов, полученных при исследовании, необходимо отметить, что колонный аппарат не теряет своей устойчивости от воздействия на него взрывной ударной волны ($P = 0 \div 100$ кПа) с разных ортогональных направлений.

При проведении мониторинга объекта, подверженного воздействию взрывной волны, одной из наиболее актуальных является задача объективного своевременного обнаружения опасных участков и организация контроля за их развитием с использованием методов неразрушающего контроля [9].

На рисунке 6 представлены наиболее опасные участки исследуемого объекта, подлежащие диагностированию, возникшие после воздействия взрыва.

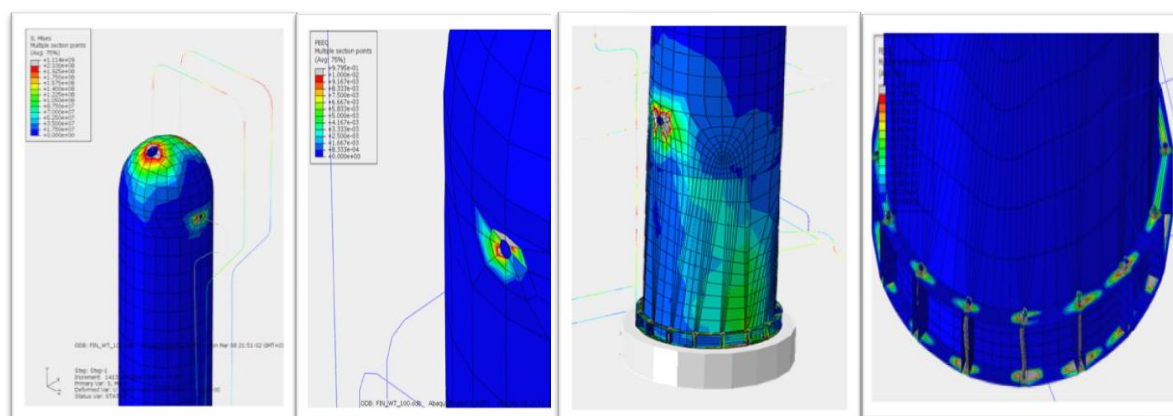


Рисунок 6. Наиболее опасные участки объекта, подлежащие диагностированию, возникшие после воздействия взрывной волны

Эксплуатирующей организацией по результатам диагностирования должны приниматься решения о дальнейшей эксплуатации объекта, попавшего в зону действия взрыва.

Выводы

С учетом многофакторного нагружения и детализации геометрии объекта с применением метода конечных элементов смоделировано динамическое поведение ректификационной колонны с трубопроводной обвязкой установки вторичной перегонки бензина при воздействии ударной взрывной волны.

При максимальном воздействии взрывной ударной волны 100 кПа колонный аппарат, обвязанный технологическими трубопроводами, сохраняет свою устойчивость в вертикальном положении, однако, возникают узлы,

испытывающие пластические деформации от воздействия взрыва, подлежащие тщательному диагностированию неразрушающими методами контроля для принятия дальнейшего решения об эксплуатации объекта.

Список используемых источников

1 Мониторинг опасных производственных объектов нефтегазовой отрасли/ Р. Р. Тляшева, А. Г. Чиркова, В. Р. Идрисов, Е. М. Ковалев, Е. В. Давыдова // Нефтегазовое дело. 2006. Т. 4, № 2. С. 108-123.

2 Техногенный риск и управление промышленной безопасностью нефтеперерабатывающих предприятий/ М. Х. Хуснияров, А. П. Вережкин, И. Р. Кузеев, Р. Р. Тляшева, Д. С. Матвеев, О. И. Гаевская, А. В. Чикуров, Р. М. Харисов, Е. А. Наумкин, А. С. Симарчук. Уфа, 2012.

3 Анализ опасности технологической системы с применением графических моделей/ Е. И. Иванова, Р. Р. Тляшева, А. Ю. Абызгильдин // Мировое сообщество: проблемы и пути решения. Уфа: УГНТУ, 2005. С. 41-43

4 Управление промышленной безопасностью опасных производственных объектов нефтегазовой отрасли/ И. Р. Кузеев, Р. Р. Тляшева, К. А. Ильин // Нефтегазовое дело. 2007. Т. 5, № 1. С. 203-218..

5 Тляшева Р. Р., Чиркова А. Г., Кузеев И. Р. Мониторинг степени опасности производственных объектов нефтегазовой отрасли. Уфа, 2008.

6 Анализ напряженно-деформированного состояния опор технологических трубопроводов под воздействием рабочих условий и нагрузок, возникающих при нештатных ситуациях/ Р. Р. Тляшева, А. В. Яковлев, А. П. Демин, А. А. Решетников. Уфа: УГНТУ, 2007. С. 59-63.

7 Ковалев Е. М., Тляшева Р. Р., Чиркова А. Г. Оптимизация расположения оборудования опасных производственных объектов нефтеперерабатывающей промышленности // Мировое сообщество: проблемы и пути решения. Уфа: УГНТУ, 2005. С. 176-180.

8 Тляшева Р. Р., Кузеев И. Р. Принципы обеспечения безопасной эксплуатации объектов предприятий нефтепереработки//Нефтегазовое дело. 2005. Т. 3. С. 285-291.

9 Создание метода управления промышленной безопасностью опасных производственных объектов нефтегазовой отрасли /И. Р. Кузеев, А. Г. Чиркова, Р. Р. Тляшева, Е. Н. Буркина //Безопасность жизнедеятельности. 2009. № 4. С. 10-14.

References

1 Monitoring opasnyh proizvodstvennyh ob#ektov neftegazovoj otrasli/ R. R. Tljasheva, A. G. Chirkova, V. R. Idrisov, E. M. Kovalev, E. V. Davydova //Neftegazovoe delo. 2006. Т. 4, № 2. S. 108-123. [in Russian].

2 Tehnogennyj risk i upravlenie promyshlennoj bezopasnost'ju neftepereraba-tyvajushhih predpriyatij/ M. H. Husnjarov, A. P. Verevkin, I. R. Kuzeev, R. R. Tljasheva, D. S. Matveev, O. I. Gaevskaja, A. V. Chikurov, R. M. Harisov, E. A. Naumkin, A. S. Simarchuk. Ufa, 2012. [in Russian].

3 Analiz opasnosti tehnologicheskoy sistemy s primeneniem graficheskikh modelej/ E. I. Ivanova, R. R. Tljasheva, A. Ju. Abyzgil'din // Mirovoe soobshhestvo: problemy i puti reshenija. Ufa: UGNTU, 2005. S. 41-43. [in Russian].

4 Upravlenie promyshlennoj bezopasnost'ju opasnyh proizvodstvennyh obektov neftegazovoj otrasli/ I. R. Kuzeev, R. R. Tljasheva, K. A Il'in//Neftegazovoe delo. 2007. Т. 5, № 1. S. 203-218. [in Russian].

5 Tljasheva R. R., Chirkova A. G., Kuzeev I. R. Monitoring stepeni opasnosti proiz-vodstvennyh obektov neftegazovoj otrasli. Ufa, 2008. [in Russian].

6 Analiz naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija opor tehnologicheskikh tubo-provodov pod vozdejstviem rabochih uslovij i nagruzok, vznikajushhih pri neshtatnyh situacijah/ R. R. Tljasheva, A. V. Jakovlev, A. P. Demin, A. A. Reshetnikov. Ufa: UGNTU, 2007. S. 59-63. [in Russian].

7 Kovalev E. M., Tljasheva R. R., Chirkova A. G. Optimizacija raspolozhenija oboru-dovaniya opasnyh proizvodstvennyh ob#ektov neftepererabatyvajushhej promyshlenno-sti // Mirovoe soobshhestvo: problemy i puti reshenija. Ufa: UGNTU, 2005. S. 176-180. [in Russian].

8 Tljasheva R. R., Kuzeev I. R. Principy obespecheniya bezopasnoj jekspluatacii obektov predpriyatij neftepererabotki//Neftegazovoe delo. 2005. T. 3. S. 285-291. [in Russian].

9 Sozдание metoda upravleniya promyshlennoj bezopasnost'ju opasnyh proizvod-stvennyh obektov neftegazovoj otrasli /I. R. Kuzeev, A. G. Chirkova, R. R. Tljasheva, E. N. Burkina //Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti. 2009. № 4. S. 10-14. [in Russian].

Сведения об авторах

About the authors

Гостенова Е. А., канд. техн. наук, доцент кафедры «Промышленная безопасность и охрана труда», ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация

E. A. Gostenova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Chair«Industrial Safety and Labor Protection», FSBEI HE “USPTU”, Ufa, Russian Federation

e-mail: goevgenia@mail.ru

Тляшев И. Р., студент гр. БПБ-15-01, ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация

I. R. Tlyashev, Student of the BPB-15-01 Group, FSBEI HE “USPTU”, Ufa, Russian Federation

e-mail: iskrt@rambler.ru