

УДК 621.6.07:658.511:628.5

UDC 621.6.07:658.511:628.5

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

АНАЛИЗ РИСКА И РАЗРАБОТКА МЕР БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ УСТАНОВКИ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ

RISK ANALYSIS AND DEVELOPMENT OF SAFETY MEASURES IN THE DESIGN OF A PROCESS PLANT FOR HYDROCARBON RAW MATERIALS PROCESSING

Александрова Анна Владимировна
к.т.н., SPIN-код: 6617-6500,
alexanna@mail.ru

Alexandrova Anna Vladimirovna
Candidate of Technical Sciences
SPIN-code: 6617-6500,
alexanna@mail.ru

Лапердина Мария Александровна
магистрант

Laperdina Maria Alexandrovna
undergraduate

Левчук Александра Александровна
к.т.н., SPIN-код: 2872-0380

Levchuk Alexandra Alexandrovna
Candidate of Technical Sciences
SPIN-code: 2872-0380

Соловьева Жанна Павловна
к.т.н., SPIN-код: 7960-4540

Solovyeva Zhanna Pavlovna
Candidate of Technical Sciences
SPIN-code: 7960-4540

Ильин Илья Андреевич
магистрант
Кубанский государственный технологический университет, Россия, 350072, г. Краснодар, ул. Московская, 2

Ilin Iliia Andreevich
undergraduate
Kuban State Technological University, 2, Moskovskaya st., Krasnodar, 350072 Russia

В настоящее время, важное значение имеет решение задач, связанных с предупреждением возможных аварийных ситуаций и минимизацией техногенных рисков, в частности в нефтегазовой отрасли, число аварий в которой остается на высоком уровне. Причинами инцидентов и аварий на опасных производственных объектах зачастую выступают несоблюдение требуемых технологических параметров, недостаточное оснащение технологических комплексов устройствами безопасности и автоматизированными системами контроля процессов. В статье приведен сравнительный анализ методов, которые могут быть использованы при выявлении опасностей на различных этапах жизненного цикла технологического объекта: размещения, проектирования, ввода в эксплуатацию, эксплуатации, реконструкции. В целях разработки мер безопасности для выбранной установки был применен метод анализа опасности и работоспособности (HAZOP). Объектом исследования выступала проектируемая технологическая установка для получения битума производительностью по сырью 24 тыс. тонн в год. Для рабочей группы экспертов поэтапно описан порядок исследования опасностей определенных узлов технологической установки, включая определение достаточности мер защиты, предусмотренных проектом и разработку

Currently, it is important to have a solution for problems related to the prevention of potential accidents and the minimization of technological risks, particularly in the oil and gas industry, the number of accidents in which remains at a high level. Causes of incidents and accidents at hazardous production facilities are often non-compliance with required technological parameters, insufficient equipment of the technological systems with safety devices and automated control systems of processes. The article presents a comparative analysis of the methods that can be used in identification of hazards at different stages of the life cycle of the technological object: location, design, commissioning, operation, reconstruction. In order to develop security measures for the selected plant, we have used a method of analysis hazard and operability (HAZOP). The object of the study was projected technological installation for obtaining of bitumen with 24 thousand tons per year performance on raw material. For the working group of experts we have step-described the order of research dangers of specific nodes of the process plant, including determining the adequacy of the protective measures provided by the project and the development of recommendations on elimination of the revealed deviations and to reduce the effects of their manifestation. The most harmful deviations of process parameters during operation of the installation were found. We have proposed hazard

рекомендаций, направленных на устранение выявленных отклонений и снижение последствий их проявления. Установлены наиболее опасные отклонения технологических параметров при эксплуатации установки. Предложены критерии опасности эксплуатации, учитывающие вероятность и тяжесть отклонений технологических параметров. Подтверждено, что метод HAZOP позволяет не только выявить причины опасностей и последствия их реализации, но и разработать рекомендации по их устранению

Ключевые слова: РИСК, БЕЗОПАСНОСТЬ, АНАЛИЗ, ОПАСНЫЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ОБЪЕКТ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, УСТАНОВКА ПО ПЕРЕРАБОТКЕ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ, АНАЛИЗ ОПАСНОСТИ И РАБОТОСПОСОБНОСТИ, HAZOP, МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ

criteria of operation, taking into account the probability and severity of deviations of technological parameters. We have also confirmed that the HAZOP method allows not only to identify the causes of hazards and consequences of their implementation but also to develop recommendations for their elimination

Keywords: RISK, SAFETY, HAZARDOUS PRODUCTION FACILITIES, DESIGN, PROCESS PLANT FOR PROCESSING OF HYDROCARBON RAW MATERIALS, ANALYSIS HAZARD AND OPERABILITY, HAZOP, SAFETY MEASURE

Doi: 10.21515/1990-4665-126-012

Введение. Ряд десятилетий нефтегазовый комплекс является критически важным элементом экономики Российской Федерации и в перспективе будет таковым оставаться. Согласно данным мониторинга Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору РФ в период с 2005 по 2015 гг. на опасных производственных объектах нефтегазового комплекса произошло 1004 аварии, повлекшие за собой 382 человеческие жертвы, значительный социальный, экологический и материальный ущерб [1]. Учитывая высокую значимость проблемы повышения безопасности при проектировании и эксплуатации объектов нефтегазового комплекса, на данный момент все большее значение приобретает решение задач, связанных с предупреждением возможных аварийных ситуаций и минимизацией техногенных рисков. Федеральные нормы и правила «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств» гласят, что «разработка технологического процесса, ... применение технологического оборудования, выбор типа отключающих устройств и мест их установки, средств контроля, управления и противоаварийной автоматической

защиты должны быть обоснованы в проектной документации результатами «Анализа опасностей технологических процессов» ... с использованием методов анализа риска аварий на ОПО (опасном производственном объекте), и должны обеспечивать минимальный уровень взрывоопасности технологических блоков, входящих в технологическую систему». Анализ опасностей и оценки риска аварий на ОПО представляют собой совокупность научно-технических методов исследования опасностей возникновения, развития и последствий возможных аварий, включающую планирование работ, идентификацию опасностей аварий, оценку риска, установление степени опасности возможных аварий, а также разработку и корректировку мероприятий по снижению риска [2, 3].

Цель настоящего исследования – обоснование мер безопасности для проектируемой технологической установки опасного производственного объекта нефтегазового комплекса на основе анализа опасностей.

Характеристика объекта исследования. Для анализа опасностей был выбран проектируемый блок окисления гудрона (рис.1) технологической установки по переработке углеводородного сырья с получением битума (дорожного и строительного).

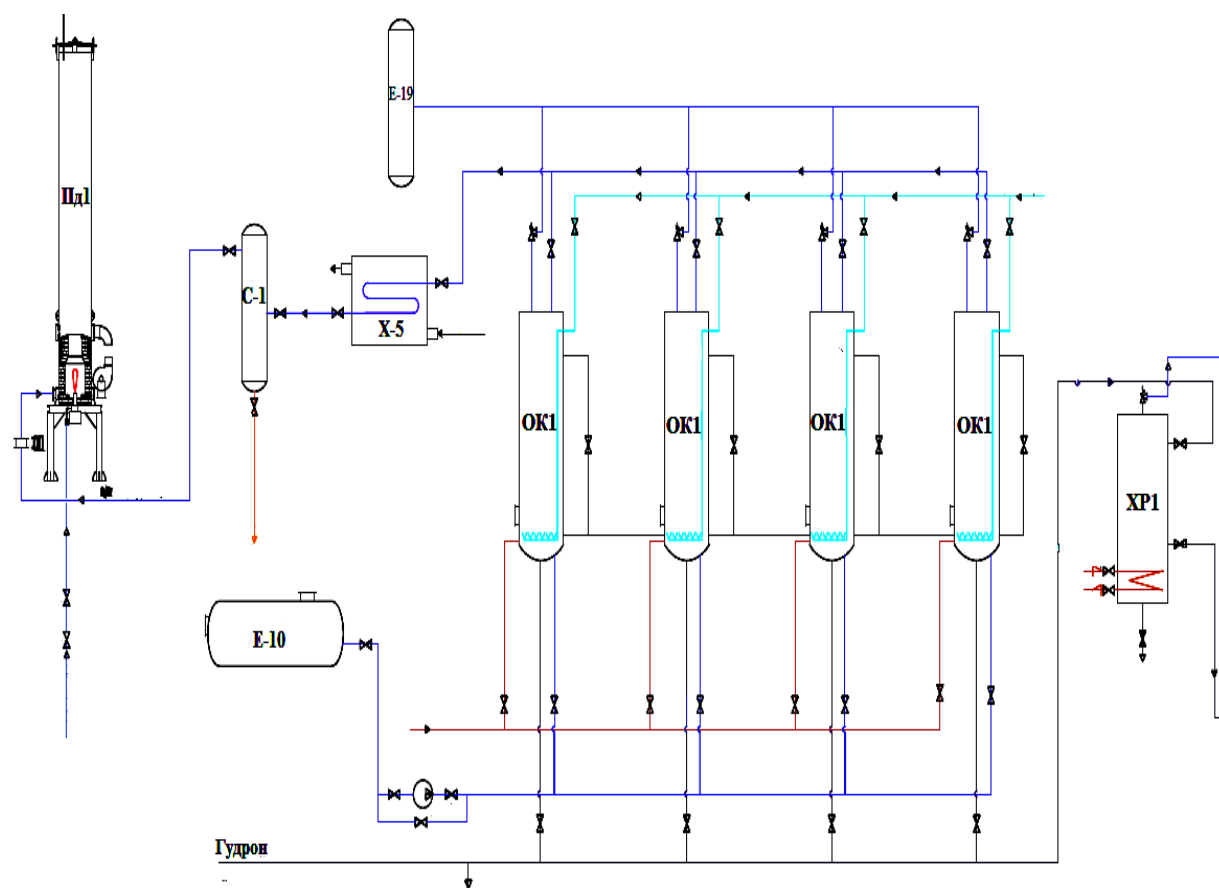


Рисунок 1. Фрагмент технологической схемы блока окисления гудрона

Сопутствующими продуктами являются: печное топливо, газойль вакуумный, судовое маловязкое топливо и гудрон. Производительность установки (блока) по сырью составляет 24 тыс. тонн в год. Технологический процесс проходит следующим образом. Гудрон на окисление поступает из промежуточной емкости E-7 под давлением пара. По достижении необходимого уровня в окислителях (ОК-1) закрывается задвижка на входе в окислители. Прекращается подача пара в E-7 закрытием крана на линии пара, закрывается задвижка на выходе гудрона из E-7. В окислитель ОК-1 на нижний маточник подается воздух от компрессора. В окислителе происходит рост температуры до $230\div 250$ °С. По ее достижению на верхние форсунки окислителя подается вода под давлением до 0,4 МПа и расходом $60\div 120$ кг/час, в зависимости от роста температуры верха окислителя, температура верха не более 250 °С. В процессе окисления гудрона выделяются пары углеводородов состава C_{90} -

C₁₅₀ и они вместе с парами воды отводятся через шлемовую трубу окислителя.

Парогазовая смесь направляется на охлаждение в водяной холодильник Х-5, из нее газожидкостная смесь поступает в скруббер С-1 на отделение углеводородных газов. Из верхней части скруббера углеводородные газы поступают на печь дожига Пд-1 на утилизацию. Жидкая фаза отводится из нижней части скруббера в накопительную емкость. По мере набора очередной порции гудрона в Е-7 для варки битума, его перекачка осуществляется в следующий окислитель и начинается процесс варки следующей порции. Полученный товарный битум из окислителя ОК-1 с температурой 230-250 °С выгружается самотеком в хранилище (ХР).

Методы и результаты исследования. На этапе оценки риска аварий в зависимости от поставленных задач на практике применяются методы количественной и качественной оценки риска аварий или их возможные сочетания. Для выбора метода имеет существенное значение этап жизненного цикла объекта (проектирование, эксплуатация и т.д.), цели анализа, критерии приемлемого риска, размещение и технологические характеристики анализируемого объекта, основные опасности (взрыв, пожар, токсичность), наличие ресурсов для проведения анализа, опыт и квалификацию исполнителей, наличие необходимой информации и другие факторы [4].

Существует достаточно большое количество методов, которые могут быть использованы при выявлении опасностей на различных этапах. Сравнительная оценка наиболее известных методов анализа рисков позволяет предложить ряд рекомендаций, способствующих выбору метода выявления опасностей (таблица 1). Одним из эффективных методов, подходящим к применению на всех стадиях, включая проектирование объекта, является качественный метод анализа рисков – анализ опасности

и работоспособности (HAZOP – Hazard and Operability Study). HAZOP – это процесс детальной и структурированной идентификации опасностей для отдельных технологических систем (участков, узлов) и хорошо зарекомендовал себя на той стадии проектного процесса технологических систем, когда разработаны базовые конструктивные и технологические элементы [2, 5], что в полной мере соответствует цели настоящего исследования. HAZOP широко используются в зарубежной практике обоснования безопасности в условиях техногенного риска, а в последнее время набирает интерес и в России [5, 6]. Отличительной особенностью процедуры HAZOP как метода экспертной оценки опасностей выступает систематизированное применение комбинации технологических параметров (например, «давление», «температура» и др.) и выбираемых так называемых «управляющих слов» («больше», «меньше», «нет», «иначе чем», «обратно» и др.) для задания и усиления «мозгового штурма» среди экспертов при анализе опасностей, в частности, отклонений параметров процессов от требуемого проектом режима.

В данной статье приведен порядок и результаты исследования HAZOP на примере приведенной технологической установки. Исследование HAZOP проводилось авторами на стадии рабочего проектирования в границах узлов (табл. 2) состоял из обсуждения рабочей группой и фиксирования результатов в таблице по этапам (рис. 2).

ЭТАПЫ АНАЛИЗА ОПАСНОСТИ И РАБОТОСПОСОБНОСТИ	✓ определение технологического узла для анализа (его границ)
	✓ обнаружение вероятных отклонений и причин возникновения источника опасности в выбранных границах
	✓ выбор и применение ключевых (управляющих) слов и параметров технологического процесса при исследовании возможности отклонения в функционировании каждого источника опасности
	✓ определение последствий каждого отклонения
	✓ определение достаточности мер защиты, предусмотренных проектом, для исследуемого узла (включая предупреждающие или сигнализирующие об отклонении)
	✓ разработка рекомендаций, направленных на устранение выявленных отклонений (источника опасности) и/или снижение последствий их проявления
	✓ назначение лица, ответственного за выполнение каждой рекомендации (эксплуатирующая организация/проектный отдел)
	✓ принятие решения о степени критичности рекомендации (по шкале категорий риска: высокая, средняя и низкая)
	✓ коллективная проверка и корректировка записей в рабочей таблице
	✓ коллективное принятие решения о переходе к исследованию следующего узла

Рисунок 2. Порядок исследования по методологии HAZOP

В процессе обсуждения узла и возможных отклонений определяется их критичность по матрице оценки риска и предлагаются при недостаточности или отсутствии мер защиты рекомендация от возможных негативных последствий отклонений, влияющих на безопасность (отклонение способно привести к аварии или поражению персонала), окружающую среду (загрязнение) и эксплуатацию (нарушение технологического процесса, остановка производства и убытки предприятия).

Таблица 1. Рекомендации по выбору методов оценки риска аварий и инцидентов

Метод /его обозначение		Стадии жизненного цикла объекта				
		Размещение	Проектирование	Ввод/вывод из эксплуатации	Эксплуатация	Модернизация, реконструкция
Анализ опасности и работоспособности	HAZOP	*	**	*	*	**
Метод идентификации опасностей	HAZID	**	*	*	0	*
Определение уровня полноты безопасности	SIL	0	*	**	**	**
Анализ «дерева отказов»	FTA	0	**	*	*	**
Анализ «дерева событий»	ETA	0	**	*	*	**
Анализ характера отказов и последствий	FMEA	*	**	*	*	*
Метод сценариев	What-If Analysis	0	*	**	**	*
Метод чек-листов	Checklist Analysis	*	*	*	*	*

Условные обозначения: «0» — низкая эффективность применения метода; «» — эффективное применение метода; «**» — высокая эффективность применения метода*

Таблица 2. Узлы блока окисления гудрона (фрагмент)

№ узла	Название узла	Границы узла
Установка первичный переработки сырья (промежуточный парк)		
№1	Промежуточная емкость	На входе: задвижка №117 – гудрон из К-4 поступает самотеком в Е-7, сброс вакуума до атмосферного давление;
№2		На выходе: задвижка №118 – полугудрон сливается в ХР-1(ХР-2)
		На входе: задвижки №94(№95) – перекачка гудрона из К-4 паровым насосом Н-9 в Е7;
		На выходе: задвижка №119, – полугудрон выталкивается паром в ОК-1(ОК-2)
Линия окисления гудрона		
№3	Окисление гудрона	На входе: в окислитель ОК-1 на нижний маточник подается воздух от компрессора КВ-1, рост температуры;
№4		На входе 2: на верхние форсунки ОК-1 подается вода под давлением до 0,4 МПа;
		На выходе: через шлемовую трубу окислителя ОК-1 пары углеводородов С90-С150 поступают на охлаждение в водяной холодильник Х-5
		На входе: из Х-5 газожидкостная смесь поступает в скруббер С-1 на отделение ув газов;
		На выходе: из верхней части скруббера С-1 УВ- газы поступают на печь дожига Пд-1 на утилизацию;
		На выходе 2: из нижней части скруббера С-1 жидкая фаза поступает в емкость Е-30
№5	Побочные продукты	На входе: битум с температурой 210-230 °С в ХР-1(ХР-2);
		На выходе: остаточные газы и водяной пар выводятся в емкость Е-15;
		На выходе 2: выгрузка охлажденного битума самотеком до насоса Н-13, насосом на стояк отгрузки

Дополнительно исследуются генеральный и ситуационный планы с указанием на них зон воздействия поражающих факторов возможных аварий для оценки характерных факторов риска и возможности нанесения ущерба персоналу, населению, окружающей среде, системы инженерного обеспечения. В финальной части работы все рекомендации подвергаются проверке и корректировке, формируется рабочая таблица HAZOP и итоговый отчет, который содержит описание выявленных вопросов, способных привести к изменениям в документации проекта (фрагмент представлен в таблице 3).

Выводы. Используя метод анализа опасностей и работоспособности, проанализированы опасности блока окисления гудрона, в результате которого выявлены наиболее опасные отклонения технологических параметров при эксплуатации установки. Используются критерии опасности эксплуатации, учитывающие вероятность и тяжесть отклонений технологических параметров. Подтверждено, что метод HAZOP позволил не только выявить причины опасностей и последствия, но и разработать рекомендации по их устранению, учитывая критичность возможной ситуации.

В развитие требований к составу проектной документации нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств авторам представляется очевидным введение обязательности проведения подобной процедуры анализа опасностей в руководящих документах Ростехнадзора РФ.

Таблица 3. Фрагмент рабочей таблицы HAZOP

Ключевое слово	Причина	Последствия	Рекомендации	Уровень критичности
Давление БОЛЬШЕ	Забился трубопровод на входе в Е-7, снижение температуры сырья (предохранительный клапан вышел из строя) (узел №1)	Безопасность: авария; Окружающая среда: загрязнение атмосферного воздуха паровоздушной смесью, разлив нефтепродукта; Эксплуатация: нарушение технологического процесса	Установка датчика и сигнализатора перепада давления; аварийная емкость для сбора паровоздушной смеси	низкий
Давление МЕНЬШЕ	Недостаточно набрано вакуума в Е-7 (узел №1)	Безопасность: нет; Окружающая среда: нет; Эксплуатация: нарушение технологического процесса, потери	Установка датчика и сигнализатора перепада давления	низкий
Температура БОЛЬШЕ	Увеличение температуры в ОК-1, прекращена подача воды на форсунки (узел №3)	Безопасность: нет; Окружающая среда: нет; Эксплуатация: нарушение технологического процесса, потери	Контроль температуры в окислителях (установка датчиков температуры)	средний
Температура МЕНЬШЕ	Недостаточный подогрев сырья, выход из строя компрессора КВ-1 (узел №3)	Безопасность: нет; Окружающая среда: нет; Эксплуатация: нарушение технологического процесса, потери	Контроль температуры в окислителях (установка датчиков температуры); установка резервного источника подачи воздуха (компрессор)	низкий
Поток БОЛЬШЕ	Задвижка на входе в ОК1 вышла из строя, разгерметизация насоса (узел №3)	Безопасность: авария; Окружающая среда: разлив нефтепродукта, испарение с поверхности разлива; Эксплуатация: нарушение технологического процесса,	Установка аварийной емкости для полугудрона, установка датчика и сигнализатора перепада давления	высокий
Поток НЕТ	Задвижка из скруббера С-1 вышла из строя (узел №4)	Безопасность: авария; Окружающая среда: загрязнение атмосферы паровоздушной смесью; Эксплуатация: нарушение технологического процесса	Установка сигнализации, блокировка подачи газожидкостной смеси; установка предохранительного клапана	средний
Поток НЕТ	Уменьшение температуры в ХР-1 (ХР-2) (узел №5)	Безопасность: нет; Окружающая среда: нет поверхности разлива; Эксплуатация: нарушение технологического процесса	Контроль температуры в хранилищах (установка датчиков температуры)	низкий

Список литературы

1. Анализ состояния оборудования энергетического, бурового и тяжелого машиностроения в организациях ТЭК. Режим доступа: <http://www.gosnadzor.ru/activity/analiz/neftegaz/> (дата обращения 18.01.2017 г.)
2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011. Менеджмент риска. Методы оценки риска. Справочная система Гарант. URL: <http://base.garant.ru/70389400/> (дата обращения 10.01.2017)
3. Шабанова Д.Н., Александрова А.В. Интегрированное управление рисками как фактор повышения конкурентоспособности предприятий нефтегазовой отрасли // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология. - 2016. - №2. С. 60-77.
4. Лапердина М.А., Александрова А.В. Рекомендации по выбору методов оценки риска аварий и инцидентов для промышленных объектов нефтегазовой отрасли // Актуальные проблемы науки и техники - 2016. Сборник IX Международной научно-практической конференции молодых ученых. - 2016. - С. 232-233.
5. Лисанов М.В., Симакин В.В., Ханин Е.В., Елаев А.П. Внедрение анализа опасностей HAZOP при проектировании нефтегазовых объектов компании ТНК-ВР // Безопасность труда в промышленности - 2010. - №12.С.23-27.
6. Шабанова Д.Н., Бондаренко И.Н., Александрова А.В. Исследование опасности и работоспособности (HAZOP) при проектировании опасных производственных объектов нефтегазового комплекса // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. - 2015. - № 8. С. 22-27.

References

1. Analiz sostojanija oborudovanija jenergeticheskogo, burovogo i tjazhelogo mashinostroenija v organizacijah TJeK. Rezhim dostupa: <http://www.gosnadzor.ru/activity/analiz/neftegaz/> (data obrashhenija 18.01.2017 g.)
2. GOST R ISO/MJeK 31010-2011. Menedzhment riska. Metody ocenki riska. Spravochnaja sistema Garant. URL: <http://base.garant.ru/70389400/> (data obrashhenija 10.01.2017)
3. Shabanova D.N., Aleksandrova A.V. Integrirovannoe upravlenie riskami kak faktor povyshenija konkurentosposobnosti predpriyatij neftegazovoj otrasli // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija 3: Jekonomika. Jekologija. - 2016. - №2. S. 60-77
4. Laperdina M.A., Aleksandrova A.V. Rekomendacii po vyboru metodov ocenki riska avarij i incidentov dlja promyshlennyh ob#ektov neftegazovoj otrasli // Aktual'nye problemy nauki i tehnik - 2016. Sbornik IX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii molodyh uchenyh. - 2016. - S. 232-233
5. Lisanov M.V., Simakin V.V., Hanin E.V., Elaev A.P. Vnedrenie analiza opasnostej HAZOP pri proektirovanii neftegazovyh ob#ektov kompanii TNK-VR // Bezopasnost' truda v promyshlennosti - 2010. - №12.S.23-27.
6. Shabanova D.N., Bondarenko I.N., Aleksandrova A.V. Issledovanie opasnosti i rabotosposobnosti (HAZOP) pri proektirovanii opasnyh proizvodstvennyh ob#ektov neftegazovogo kompleksa // Zashhita okruzhajushhej sredy v neftegazovom komplekse. - 2015. - № 8. S. 22-27.