

А.А. Корнилов

(Уральский институт Государственной противопожарной службы МЧС России;
e-mail: kornilov_alexei1@mail.ru)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АЗОТА В ПРОЦЕССЕ ФЛЕГМАТИЗАЦИИ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Приведены результаты экспериментального исследования процесса флегматизации азотом резервуаров для нефтепродуктов на полупромышленном стенде.

Ключевые слова: флегматизация, огневые работы, инертный газ, азот.

A.A. Kornilov

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE UNEVEN DISTRIBUTION OF NITROGEN IN THE PROCESS OF DESENSITIZATION TANKS FOR PETROLEUM PRODUCTS

The results of experimental researches of desensitization nitrogen tanks for petroleum products in the semi-industrial bench.

Key words: phlegmatization, hot works, inert gas, nitrogen.

Своевременный и качественный ремонт резервуаров для нефтепродуктов является одной из первостепенных задач предприятий нефтегазового комплекса. Возникновение аварий на подобных объектах зачастую ведет к возникновению крупных пожаров, тушение которых представляет большую сложность для подразделений противопожарной службы. Обеспечению безопасности на стадии подготовки и проведения ремонтных работ следует уделять особое внимание, поскольку на их долю приходится около четверти от общего количества пожаров на резервуарах [1].

Необходимо предусматривать мероприятия, направленные на снижение пожарной опасности указанных технологических процессов. К числу таковых можно отнести и флегматизацию свободного от жидкого нефтепродукта резервуара с целью создания среды с концентрацией кислорода, исключающей возникновение пожара независимо от наличия источника зажигания и горючей среды.

Одним из наиболее перспективных способов получения инертного газа непосредственно на объекте, не требующим покупки и доставки инертного газа в цистернах, является мембранное воздухоразделение. Получение инертной среды обеспечивается путем фильтрации атмосферного воздуха через пололоконную мембрану.

Особенностью проведения флегматизации является подача инертного газа со значительно меньшим расходом, чем, например, при продувке воздухом (дегазации). Стоимость мембранной установки прямо пропорциональна её производительности по инертному газу, при этом допускается остаточный кисло-

род. Поэтому вопрос оптимизации расхода инертного газа при обеспечении безопасности для применения данной технологии является одним из основных. Условием безопасности в данном случае является создание во всем защищаемом объеме среды с содержанием кислорода, не превышающим требуемого значения. Однако, степень неравномерности распределения азота мембранного разделения и, соответственно, кислорода в объеме резервуара при небольшой кратности продувки на сегодняшний день не изучена.

Поэтому возникла необходимость проведения экспериментального исследования с целью оценки степени неравномерности распределения кислорода в объеме резервуара при проведении флегматизации на основе мембранного воздухоразделения. Исследование эффективности флегматизации различными инертными газами было проведено автором [2], но расход инертной среды был выбран на основании рекомендаций по вентилированию резервуаров воздухом, то есть кратность продувки составляла от 2,5 до 10 1/ч, что в случае применения азота мембранного разделения является экономически невыгодным. Под кратностью, в данном случае, понимается отношение:

$$Kp = \frac{q}{V}, \quad (1)$$

где q – расход инертного газа, m^3/c ;

V – объем экспериментальной ёмкости, m^3 .

Проведению испытаний на полупромышленном стенде предшествовал комплекс лабораторных экспериментов с использованием мембранного модуля, что позволило выявить ряд особенностей рассматриваемого процесса, в том числе, возможность использования для эксперимента сжатого азота, нагретого до 30 °С, вместо азота мембранного разделения.

На основе опыта конструирования экспериментальных установок по исследованию аналогичных массообменных процессов [2-4] был разработан полупромышленный стенд (рис. 1), моделирующий (с учётом теории подобия) процесс флегматизации резервуара РВС-5000. В табл. 1 приведены технические характеристики и геометрические размеры экспериментальных резервуаров ЭР-1, ЭР-2.

Таблица 1

Основные характеристики экспериментальных резервуаров ЭР-1 и ЭР-2

Геометрические размеры	ЭР-1	ЭР-2
	Масштаб 1:10	Масштаб 1:8
Диаметр, м	2,1	2,6
Высота, м	1,5	1,9
Площадь днища, m^2	3,46	5,31
Объём, m^3	5,1	10,2
Моделируемая кратность продувки, 1/ч	0,08	0,16

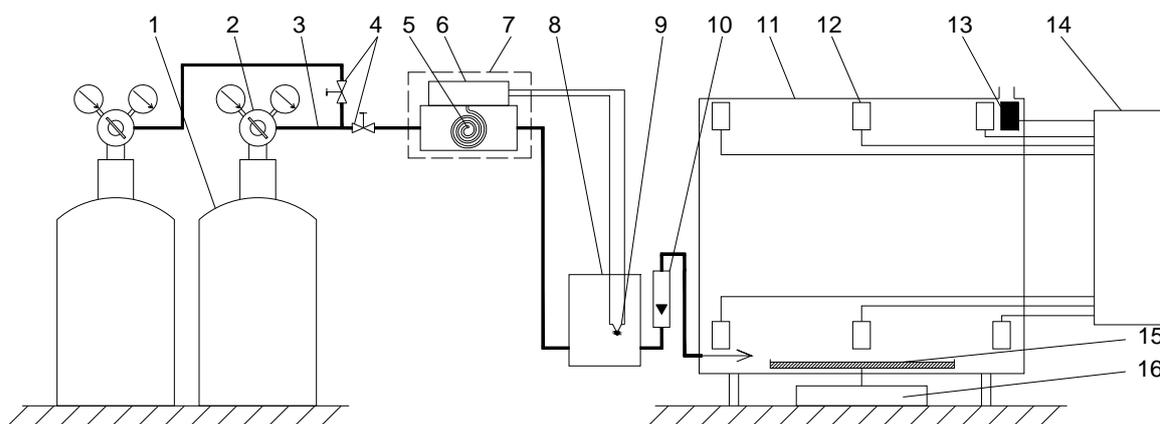


Рис. 1. Схема установки:

1 – ёмкость со сжатым азотом (второй баллон использовался для флегматизации резервуара объёмом 10 м³); 2 – газовый редуктор; 3 – соединительные патрубки; 4 – вентили точной подстройки; 5 – нагревательный элемент; 6 – блок автоматической регулировки температуры; 7 – каналный воздушонагреватель; 8 – контрольная ёмкость; 9 – термопара; 10 – ротаметр; 11 – экспериментальный резервуар; 12 – датчик концентрации кислорода; 13 – датчик концентрации паров нефтепродуктов; 14 – контрольно-измерительный комплекс; 15 – ёмкость с нефтепродуктом; 16 – электронные весы

Подача инертного газа осуществлялась на 4 уровне в непосредственной близости от точки 3 на рис. 2а, струя направлена параллельно основанию вдоль его диаметра. Выпускное отверстие находилось в точке 1 на уровне 1. Более подробно теоретическое обоснование конструкции установки и методики проведения эксперимента приведено в [5, 6].

В объёме экспериментального резервуара закрепляются датчики концентрации кислорода. Опыт проведения аналогичных экспериментов в лабораторных условиях с большим количеством измерительных сенсоров (48 сенсоров, равномерно распределённых по объёму резервуара) показал, что контроль концентрации в объёме резервуара целесообразно производить по периметру основания и крыши резервуара [7]. Схема расстановки сенсоров в экспериментальных резервуарах приведена на рис. 2.

Основное отличие от лабораторной установки, описанной в [5, 6], заключается в системе подачи инертного газа. Вместо мембранного модуля использовались баллоны со сжатым азотом более высокой степени чистоты, по сравнению с обеднённым кислородом воздухом. При этом газ перед попаданием в резервуар проходил дополнительный подогрев в каналном воздушонагревателе до 30 °С, что приблизительно соответствует температуре обеднённого кислородом воздуха, получаемого мембранным способом. Поддержание температуры газа осуществлялось автоматически посредством регулировки нагрева электрической спирали в воздушонагревателе в зависимости от температуры азота в контрольной ёмкости, измеряемой с помощью термопары.

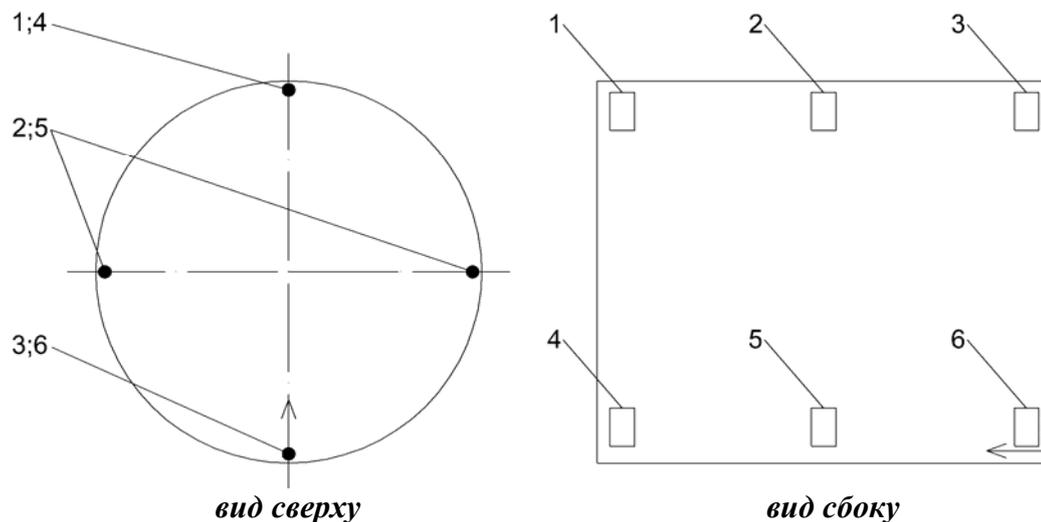


Рис. 2. Схема размещения датчиков в экспериментальном резервуаре:
 1-6 – номера датчиков концентрации кислорода;
 датчики № 2 и № 5 пронумерованы таким образом вследствие
 высокой степени сходства результатов измерения

Применяемая система измерений позволила получить большое количество информации от каждого сенсора. Пример графика изменения концентрации кислорода (φ_K) для каждой точки представлен на рис. 3. Фиксация текущей концентрации с высокой частотой (приблизительно через каждые 0,4 с) позволяет исключить "случайные" изменения состава контролируемой смеси в локальном объёме, что возможно в случае отбора проб на газовый анализ с помощью шприца.

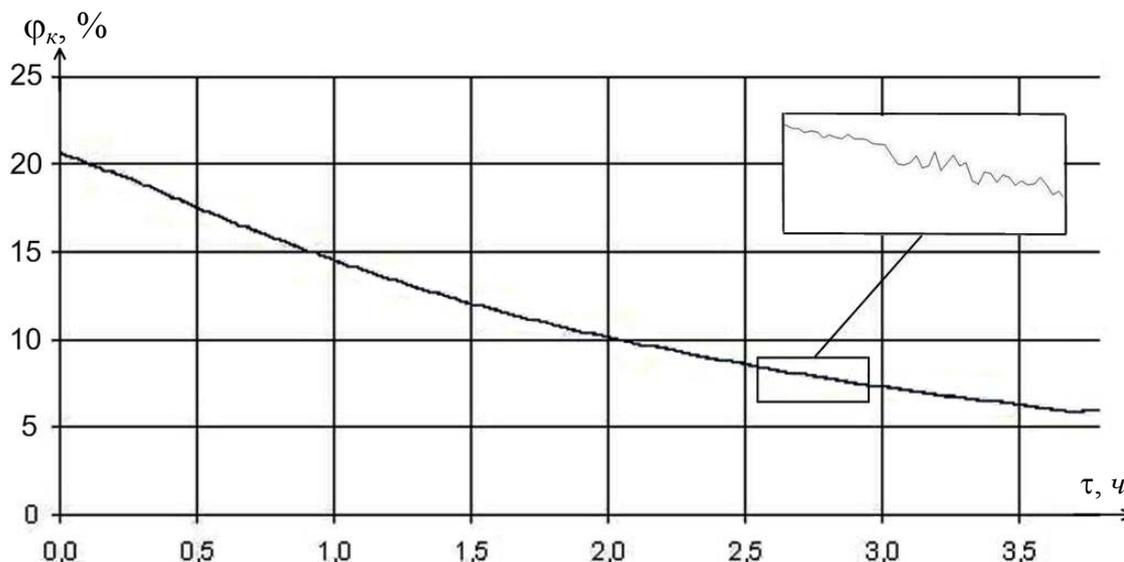


Рис. 3. График динамики концентрации кислорода,
 построенный по данным одного измерительного сенсора

Согласно наиболее распространённому допущению, принятому для описания процесса заполнения замкнутого объёма инертным газом [2, 8-10], подаваемый инертный газ мгновенно и равномерно распространяется в защищаемом объёме, после чего часть среды со среднеобъёмной концентрацией инертного газа удаляется через отверстия или неплотности. В связи с этим анализ полученных экспериментальных данных проводился следующим образом: определялось отношение концентрации кислорода в каждой контролируемой точке в каждый момент времени к среднеобъёмной концентрации кислорода, найденной, как среднее арифметическое значение в аналогичный момент времени (рис. 4, 5).

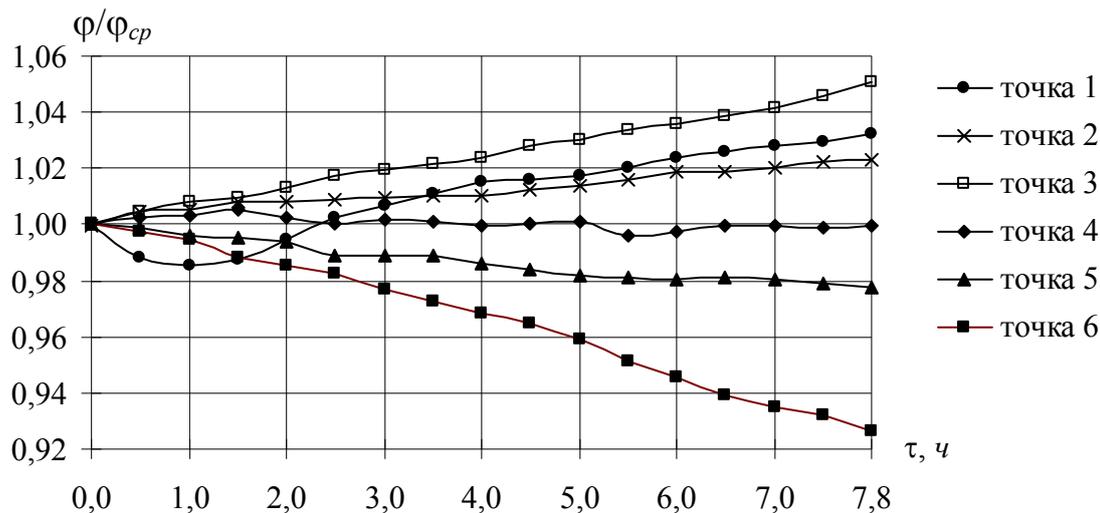


Рис. 4. Отношение концентраций в различных точках к среднеобъёмной концентрации (объём модельного резервуара 5 м^3)

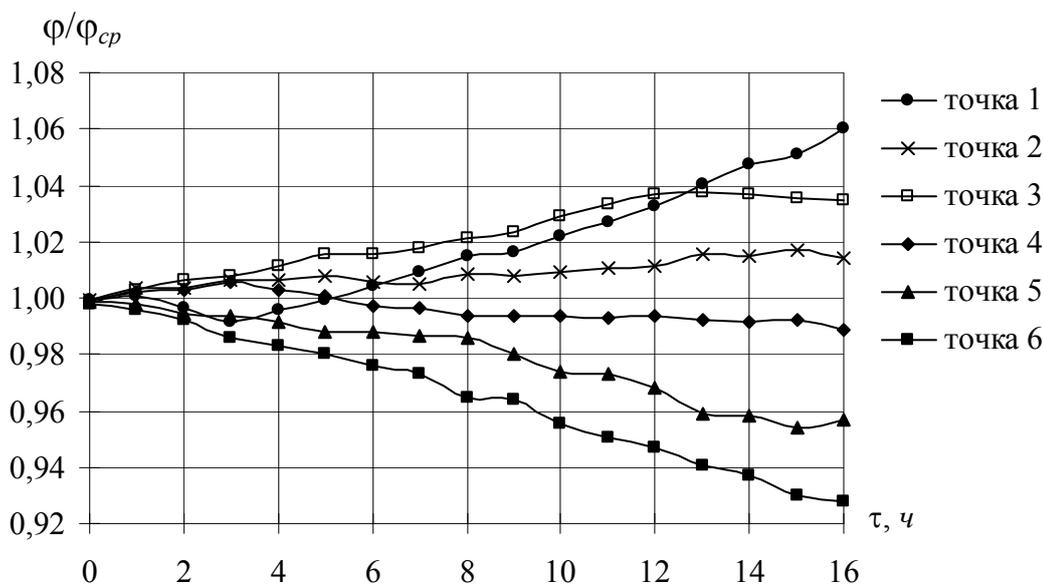


Рис. 5. Отношение концентраций в различных точках к среднеобъёмной концентрации (объём модельного резервуара 10 м^3)

Приведённые на рис. 4 и 5 зависимости свидетельствуют о том, что допущение о "мгновенном" и "идеальном" перемешивании подаваемого инертного газа не соответствует действительности. Наличие неравномерности, в свою очередь, влияет на материальный баланс азота и кислорода внутри защищаемого резервуара, определяет требования к способу контроля текущей концентрации кислорода в резервуаре (место отбора проб газоанализатором, коэффициент безопасности, учитывающий наличие зон с более высокой концентрацией кислорода по отношению к месту отбора проб, требуемое количество инертного газа для флегматизации).

На рис. 6 и 7 приведено отношение максимальных концентраций кислорода по периметру резервуара к минимальным за время подачи инертного газа.

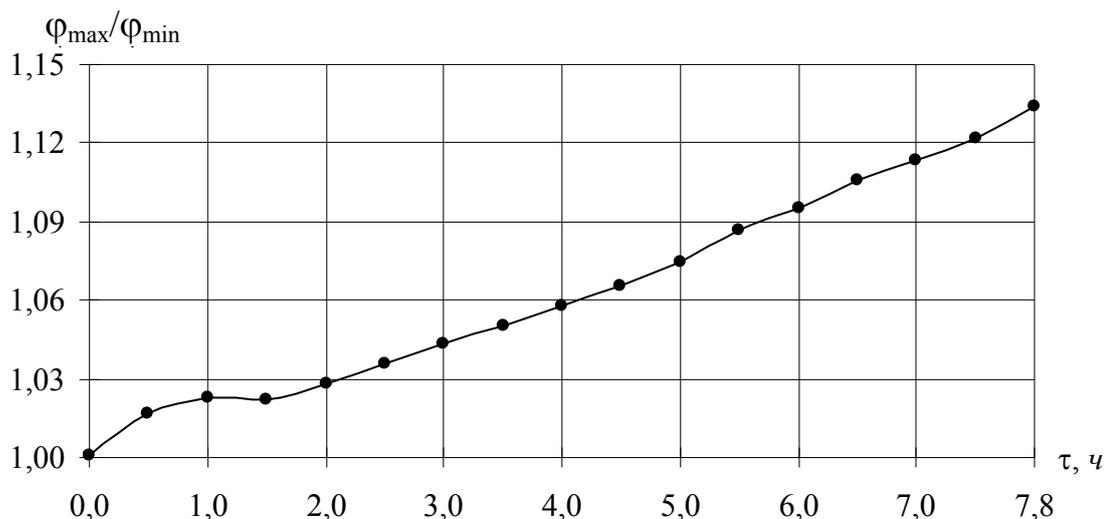


Рис. 6. Отношение максимальных концентраций кислорода к минимальным в ходе флегматизации (объём модельного резервуара 5 м³)

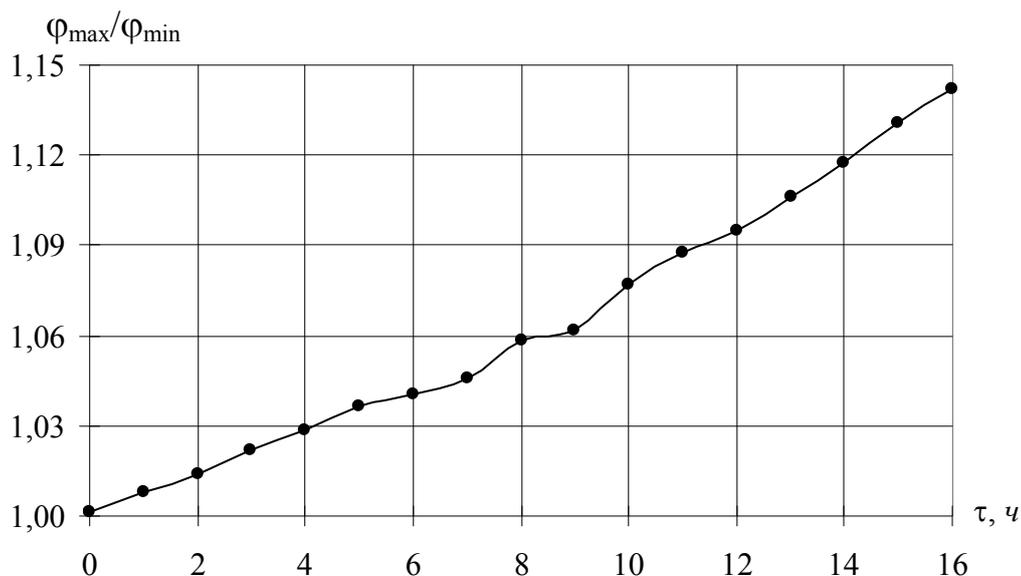


Рис. 7. Отношение максимальных концентраций кислорода к минимальным в ходе флегматизации (объём модельного резервуара 10 м³)

Полученные данные можно использовать на стадии эксплуатации систем флегматизации для обеспечения контроля текущей концентрации кислорода. Поскольку одной фиксированной точки с максимальной концентрацией кислорода, характерной для любой ёмкости, выявлено не было, то контроль концентрации кислорода можно обеспечивать в любой точке по периметру резервуара с учётом коэффициента безопасности, в этом случае безопасная концентрация кислорода будет определяться по формуле:

$$\varphi_{\kappa}^{mp} = \frac{\varphi_{\kappa}^{\phi}}{\sqrt{\left(\frac{\varphi_{\max}}{\varphi_{\min}}\right)^2 + \left(\frac{\Theta}{100}\right)^2}}, \quad (2)$$

где φ_{κ}^{ϕ} – флегматизирующая концентрация кислорода для используемого вида нефтепродукта, % об.;

$\frac{\varphi_{\max}}{\varphi_{\min}}$ – отношение концентраций в областях с максимальным

и минимальным содержанием кислорода внутри защищаемого резервуара к моменту достижения флегматизирующей концентрации;

Θ – погрешность измерений концентрации кислорода, %.

С учётом полученных экспериментальных значений формула (2) примет вид:

$$\varphi_{\kappa}^{mp} = \frac{\varphi_{\kappa}^{\phi}}{1,14}, \quad (3)$$

Таким образом, безопасная концентрация кислорода будет определяться формулой (3), учитывающей неравномерность распределения инертного газа внутри защищаемого резервуара при осуществлении флегматизации.

Проведенное экспериментальное исследование позволило выявить неравномерность распределения инертного газа и кислорода в процессе флегматизации, что опровергает принятое для рассматриваемого процесса допущение о "мгновенном" и "равномерном" перемешивании инертной среды. Была проведена количественная оценка неравномерности распределения газов, в результате чего установлено, что для кратности 0,08 1/ч и 0,16 1/ч степень неравномерности приблизительно одинакова.

Литература

1. **Назаров В.П.** Обеспечение пожаровзрывобезопасности при ликвидации аварий и ЧС на объектах транспорта и ранения нефти и нефтепродуктов // Материалы XXI международной научно-практической конференции "Актуальные проблемы пожарной безопасности". Часть 1. М.: ВНИИПО, 2009. С. 166-169.

2. **Булгаков В.В.** Обеспечение пожаровзрывобезопасности огневых аварийно-ремонтных работ на резервуарах способом флегматизации: Дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. М.: Академии ГПС МЧС России, 2001. 236 с.

3. **Назаров В.П.** Очистка резервуаров от остатков светлых нефтепродуктов перед проведением огневых ремонтных работ: Дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. М.: ВИПТШ МВД СССР. 1980. 250 с.

4. **Сорокоумов В.П.** Обеспечение пожарной безопасности резервуаров с локальными остатками нефтепродуктов при проведении аварийно-ремонтных работ: Дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. М.: Академии ГПС МЧС России, 2002. 160 с.
5. **Назаров В.П., Корнилов А.А., Зыков П.И.** Разработка экспериментальной установки по изучению процессов флегматизации инертными газами резервуаров для нефти и нефтепродуктов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе, 2009. № 4. С. 50-55.
6. **Назаров В.П., Корнилов А.А., Зыков П.И.** Расчётное обоснование методики и конструктивных особенностей экспериментальной установки по изучению процессов флегматизации резервуаров для нефти и нефтепродуктов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе, 2009. № 4. С. 55-60.
7. **Назаров В.П., Корнилов А.А.** Экспериментальное исследование процесса флегматизации резервуаров для нефтепродуктов азотом мембранного разделения // Интернет-журнал "Технологии техносферной безопасности". <http://ipb.mos.ru/ttb/2010-4>.
8. **Алексеев М.В., Волков О.М., Шатров Н.Ф.** Пожарная профилактика технологических процессов производств: Учебник. М.: ВИПТШ МВД СССР, 1986. 370 с.
9. **Волков О.М.** Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами. М.: Недра, 1984. 151 с.
10. **Баратов А.Н., Иванов Е.Н.** Пожаротушение на предприятиях химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. М.: Химия, 1971. 416 с.