



МЧС РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Уральский институт государственной противопожарной службы
Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны,
чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»

Кафедра криминалистики и инженерно-технических экспертиз

**ПРАКТИКА ПО ПОЛУЧЕНИЮ
ПЕРВИЧНЫХ УМЕНИЙ И НАВЫКОВ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
(НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА)**

**Методические рекомендации
по подготовке к зачёту**

Специальность 40.05.03 Судебная экспертиза
(уровень специалитета)
Специализация «Инженерно-технические экспертизы»

Екатеринбург

2021

Практика по получению первичных умений и опыта научно-исследовательской деятельности (научно-исследовательская работа) : методические рекомендации по подготовке к зачёту. Специальность 40.05.03 Судебная экспертиза (уровень специалитета). Специализация «Инженерно-технические экспертизы» / сост. О. В. Беззапонная. – Екатеринбург : Уральский институт ГПС МЧС России, 2021. – 80 с.

Составитель:

Беззапонная О.В., доцент кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Уральского института ГПС МЧС России к.т.н., доцент.

Методические рекомендации разработаны для студентов Уральского института ГПС МЧС России, обучающихся по специальности 40.05.03 Судебная экспертиза.

Методические рекомендации рассмотрены и одобрены на заседании кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз.

Протокол № 15 от « 7 » июля 2021 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Методические рекомендации по подготовке отчёта по итогам проведения научно-исследовательской практики.....	4
2. Методические рекомендации по подготовке к зачёту по итогам прохождения практики.....	5
3. Критерии оценивания результатов научно-исследовательской практики.....	7
4. Рекомендуемая литература.....	9
5. Рекомендуемые ресурсы телекоммуникационной сети «Интернет»	10
Приложение.....	12

Введение

Целью практики по получению первичных умений и навыков научно-исследовательской деятельности (научно-исследовательская работа) является формирование у обучающихся компетенций исследователя и получение опыта планирования и проведения научно-исследовательской работы.

Практика по получению первичных умений и навыков научно-исследовательской деятельности, согласно учебного плана, проходит в 8 семестре. Объём практики – 2 зачётные единицы (72 часа).

По окончании практики обучающиеся представляют на кафедру:

- индивидуальный задание на выполнение научно-исследовательской работы в рамках прохождения практики по получению первичных умений и навыков научно-исследовательской деятельности (научно-исследовательская работа) (Приложение 1);
- календарный план-график прохождения практики по получению первичных умений и навыков научно-исследовательской деятельности (научно-исследовательская работа) (Приложение 2);
- отчет об итогах прохождении практики по получению первичных умений и навыков научно-исследовательской деятельности (научно-исследовательская работа) (Приложение 3);
- отзыв научного руководителя.

По окончании практики по получению первичных умений и навыков научно-исследовательской деятельности (научно-исследовательская работа) обучающиеся сдают зачёт – защищают результаты исследований. Зачёт является итоговым контролем и имеет целью проверить формирование компетенций у обучающихся. Практика оценивается по результатам защиты результатов исследований, полученных при прохождении практики и отзыва научного руководителя.

1. Методические рекомендации для подготовки отчёта по итогам прохождения практики

Требования к содержанию отчёта по практике определяются программой практики по получению первичных умений и навыков научно-исследовательской деятельности (НИР). Образец оформления отчёта по практике представлен в приложении 3.

Структура отчета.

Формой отчётности по практике является отчёт. Отчет по практике содержит следующие элементы:

- введение (цель и задачи практики, место проведения практики, актуальность выбранной темы исследования, цель и задачи исследования, объект и предмет исследования);

- основная часть (анализ нормативной и научно-технической литературы по теме ВКР, описание результатов анализа, обобщение и систематизация проведённых исследований, анализ достоверности полученных результатов, сравнение результатов исследования с отечественными и зарубежными разработками, исследованиями);
- заключение (описание основных полученных результатов и описание навыков и умений, приобретенных во время практики);
- список литературы (не менее 10 источников, включая зарубежные), составленный в соответствии с библиографическими нормами;
- приложения (индивидуальное задание, календарный план-график работы обучающегося на время прохождения практики).

Общими требованиями к содержанию отчета являются:

- соответствие темы исследования специальности и специализации обучения;
- соответствие представленного материала выбранной теме исследования;
- логическая последовательность построения изложения материала;
- убедительность аргументов;
- содержательная полнота, краткость и четкость формулировок;
- конкретность изложения результатов работы;
- раскрытие и проработка темы исследования;
- обоснованность выводов и рекомендаций.

Объем отчета – 30-40 страниц печатного текста на листах формата А4. Формат оформления: шрифт 14 Times New Roman, 1,5 интервала, выравнивание по ширине страницы. Пример оформления титульного листа отчёта и самого отчёта по практике приведён в приложении 3.

К отчету прилагается отзыв руководителя практики с оценкой проделанной работы. Отчет является основным документом, характеризующим степень сформированности компетенций за время прохождения практики.

2. Методические рекомендации по подготовке к зачёту

По окончании практики обучающийся должен представить для защиты отчет о прохождении практики, выполненный в соответствии с требованиями и заверенный руководителем практики, а также отзыв руководителя практикой.

Зачёт по итогам практики проводится на основании защиты результатов практики. На зачёте обучающийся выступает с устным докладом. Доклад должен быть рассчитан на 5-6 минут и включать в себя основные результаты, полученные при прохождении практики. В ходе доклада обучающимся может быть представлена наглядная информация (схемы, таблицы, графики и другой

иллюстративный материал). После доклада члены комиссии задают дополнительные вопросы.

На зачете учитывается объем выполнения программы и заданий практики, правильность оформления и качество содержания отчета по практике, правильность ответов на заданные руководителем практики и комиссией вопросы.

Для проведения зачёта формируется примерный перечень вопросов для подготовки к зачёту. Оценочные средства включают в себя вопросы по обоснованию выбора темы научной работы, научному содержанию работы, обзору научной литературы и выводам из него, особенностям методик получения экспериментальных данных и их обработки, пр. Конкретизация вопросов зависит от темы исследования, от темы ВКР.

Примерный перечень вопросов для подготовки к зачёту:

1. Актуальность (обоснование) выбора темы исследования;
2. Цель, задачи и объект научного исследования;
3. Научная проблема исследования;
4. Краткий обзор критического анализа результатов работы с научной, технической, нормативной литературой;
5. Обоснование выбранного направления исследования и подбора средств и методов, необходимых для достижения поставленной задачи;
6. Методы научного исследования;
7. Какие методы научного исследования применялись в ходе прохождения научно-исследовательской практики?;
8. Применяемые методики обработки и интерпретации результатов исследований;
9. Итоги сравнения результатов экспериментальных исследований с результатами моделирования (при наличии), основными результатами научно-исследовательской деятельности (НИД), литературными данными.
10. Достоверность результатов исследования.
11. Знания, умения и навыки, полученные в ходе прохождения практики.
12. Научные источники по разрабатываемой теме исследования;
13. Обоснование методики обработки и интерпретации результатов исследования;
14. Методы анализа и обработки исследовательских данных;
15. Рекомендации по практическому использованию полученных результатов исследования;
16. Выводы и предложения по включению материалов исследования в выпускную квалификационную работу;
17. Сравнение полученных результатов исследования объекта разработки с имеющимися отечественными/зарубежными аналогами.

Конкретный перечень вопросов определяется темой научного исследования.

3. Критерии оценивания результатов практики

Оценка результатов НИПр проводится по следующим критериям:

- четкая концепция работы;
- проблемность и актуальность темы исследования;
- степень изученности темы;
- умение работать с источниками разного вида (полнота источниковой базы, репрезентативность, оценка их достоверности);
- эффективность применяемых в исследовании методов и методик;
- объем проведенной исследовательской работы;
- внутренняя целостность исследования, комплексность, системность анализа;
- способность грамотно, доступно, профессионально изложить и презентовать итоги проведенной исследовательской работы;
- использование наглядного материала (иллюстрации, схемы, таблицы, электронная презентация и др.);
- грамотность оформления текста отчета.

Таблица

Критерии оценивания результатов практики на зачёте

Критерии оценивания	Итоговая оценка
<ul style="list-style-type: none"> - обучающийся не демонстрирует способность выявлять актуальные проблемы исследования; - обучающийся не решил или не в полной мере решил задачи, предусмотренные программой практики, что нашло отражение в отзыве научного руководителя; - обучающийся не способен ставить цели и задачи исследования, определять материал и методы исследования; - задание обучающимся не выполнено или выполнено не в полном объёме; - результат, полученный в ходе выполнения практики, не соответствует поставленной цели и задачам; - обучающийся не способен проводить исследование в соответствии с разработанной программой практики; - не способен составлять библиографический каталог, обрабатывать материал по проблемам исследования; - обучающийся испытывает трудности в представлении результатов проведенного исследования или не способен представлять результаты проведенного исследования. 	«Не зачтено»
<ul style="list-style-type: none"> - обучающийся продемонстрировал хороший уровень решения задач, предусмотренных программой практики, но имели место отдельные 	«Зачтено»

<p>замечания руководителей практики, что нашло отражение в отзыве руководителя практики;</p> <ul style="list-style-type: none"> - отчетные материалы соответствуют содержанию практики. результат, полученный в ходе прохождения практики, в полной мере соответствует заданию; - задание выполнено в полном объеме; - обучающийся способен правильно обобщать и критически оценивать результаты, полученные отечественными и зарубежными исследователями; выявлять и формулировать актуальные и научные проблемы; - способен аргументировано и ясно обосновывать актуальность, теоретическую и практическую значимость избранной темы исследования; - способен проводить исследования и анализ в соответствии с разработанной программой. 	
---	--

4. Рекомендуемая литература

1. Тихонов В.А., Ворона В.А., Митрякова Л.В. Теоретические основы научных исследований: Учебное пособие для вузов. 2016 г. – 320 с.
2. Глухих В.В. Основы научных исследований: курс лекций/ В.В. Глухих; УГЛТУ. - Екатеринбург, 2009. – 98 с.
3. Кукушкина В.В. Организация научно-исследовательской работы студентов (магистров): учеб. пособие для вузов. – М.: Инфра-М, 2017. – 265 с.

5. Рекомендуемые ресурсы телекоммуникационной сети «Интернет»

1. Официальный сайт МЧС России – <http://www.mchs.gov.ru/>.
2. Официальный сайт ФГБУ ВНИИПО МЧС России – <http://www.vniipo.ru/>.
3. Официальный сайт компании «Консультант Плюс» – <http://www.consultant.ru/>.
4. Электронные базы данных Федерального института промышленной собственности – <http://www.fips.ru>.
5. Архив журнала «Пожаровзрывобезопасность» – <http://fire-smi.ru/arhiv>
6. Электронно-библиотечная система IPRbooks, <http://www.iprbookshop.ru/>.
7. Электронно-библиотечная система «Лань» – <http://e.lanbook.com>
8. Доступ к полным текстам и аннотациям статей из журналов издательства «Эльзевир» на платформе ScienceDirect в 21 предметной коллекции (Freedom Collection): <http://info.sciencedirect.com/>
9. Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru>

10. Научные журналы издательства Taylor & Francis (UK) на электронной платформе Informaworld: <http://www.informaworld.com/>
11. Полные тексты и аннотации статей из международных научных журналов World Scientific Publishing: <http://www.worldscinet.com/>
12. Рефераты, полные тексты и аннотации статей из журналов, книги: Springer Verlag <http://springerlink.com/>
Blackwell Publishing <http://www.blackwellpublishing.com/contacts/>
Chemical Abstracts <http://chemabs.cas.org>
The Royal Society of Chemistry <http://www.rsc.org>
American Chemical Society <http://pubs.acs.org>
The Electrochemical Society <http://www.electrochem.org>
13. Базы ВИНТИ (периодические издания, книги, фирменные издания, материалы конференций, тезисы, патенты, нормативные документы, депонированные научные работы) <http://www.viniti.ru/bnd.html>
14. Авторефераты диссертаций Dissertation Abstracts: http://www.proquest.com/en-US/products/brands/pl_umi.shtml
15. <http://www.gostrf.com> библиотека всех действующих ГОСТов и национальных стандартов.
16. <http://vak.ed.gov.ru> Высшая Аттестационная Комиссия (ВАК) при Министерстве образования и науки Российской Федерации.



МЧС РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Уральский институт государственной противопожарной службы Министерства
Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и
ликвидации последствий стихийных бедствий»

Кафедра «Криминалистики и инженерно-технических экспертиз»

УТВЕРЖДАЮ

Начальник кафедры
полковник внутренней службы,
к.ю.н., доцент

_____ С.В. Макаркин
« ____ » _____ 20__ г.

ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

**на выполнение научно-исследовательской работы в рамках
прохождения практики по получению первичных умений и навыков
научно-исследовательской деятельности (НИР)**

Студент _____ учебной группы факультета управления и комплексной
безопасности

_____ (фамилия, имя, отчество обучаемого)

**Направление подготовки (специальность) 40.05.03 «Судебная экспертиза»
(уровень специалитета)**

Специализация «Инженерно-технические экспертизы»

Сроки прохождения практики _____

**1. Тема научно-исследовательской работы, выполняемой в период
прохождения практики**

2. Примерный перечень вопросов для разработки:

3. План-график прохождения практики

№ п/п	Этапы практики, содержание выполняемых работ и заданий по программе практики	Сроки выполнения	Примечание
1	Ознакомление с целями и задачами исследовательской практики, разработка индивидуального плана практики		
2	Определение цели и задач исследований, планируемых в рамках практики		
3	Определение объекта и предмета исследований		
...	Анализ нормативных документов по теме исследования		
	Анализ научно-технической литературы по теме исследования		
...	Оформление аналитического обзора по теме исследования		
...	...		
...	Описание основного метода экспериментальных исследований по теме		
...	Формулирование выводов по результатам исследований в рамках практики		
...	Оформление итогового отчёта по научно-исследовательской практике		

4. Место прохождения практики: кафедра криминалистики и инженерно-технических экспертиз Уральского института ГПС МЧС России

5. Руководитель практики:

(должность, Ф.И.О. руководителя практики)

Руководитель практики:

Должность,

ученая степень, ученое звание,

специальное звание (при наличии)

подпись

И.О. Фамилия

«__» _____ 20__ г.

Задание к исполнению получил:

Студент _____ учебной группы

подпись

И.О. Фамилия

«__» _____ 20__ г.



МЧС РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Уральский институт государственной противопожарной службы
Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны,
чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»

Кафедра «Криминалистики и инженерно-технических экспертиз»

УТВЕРЖДАЮ

Начальник кафедры
полковник внутренней службы
к.ю.н, доцент,

_____ С.В. Макаркин
«__» _____ 202_ г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН-ГРАФИК прохождения практики по получению первичных умений и навыков научно-исследовательской деятельности (НИР)

студента _____ учебной группы факультета управления и комплексной
безопасности _____
(фамилия, имя, отчество)

Направление подготовки (специальность) 40.05.03 «Судебная экспертиза»
(уровень специалитета)

Специализация «Инженерно-технические экспертизы»

Сроки прохождения практики: с «__» _____ 202_ г. по «__» _____ 202_ г.

Место прохождения практики: _____

Руководитель практики _____

(должность, ученая степень, ученое звание, специальное звание (последнее при наличии),
фамилия, имя, отчество)

№ п\п	Краткое описание выполняемой работы	Срок выполнения этапов	
		плановый	фактический
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			
7.	Представление отчета руководителю практики		

Студент _____ учебной группы
« ____ » _____ 20__ г

подпись

И.О. Фамилия

Руководитель практики:

Должность,

ученая степень, ученое звание,
специальное звание (при наличии)

« ____ » _____ 20__ г.

подпись

И.О. Фамилия



МЧС РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Уральский институт государственной противопожарной службы
Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны,
чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»

Кафедра «Криминалистики и инженерно-технических экспертиз»

УТВЕРЖДАЮ

Начальник кафедры
полковник внутренней службы
к.ю.н, доцент

_____ С.В. Макаркин
«___» _____ 202__ г.

ОТЧЕТ ОБ ИТОГАХ ПРОХОЖДЕНИЯ ПРАКТИКИ

**по получению первичных умений и навыков
научно-исследовательской деятельности (НИР)**

**Направление подготовки (специальность) 40.05.03 «Судебная экспертиза»
(уровень специалитета)**

Специализация «Инженерно-технические экспертизы»

ТЕМА НИР: «_____»

Отчет составил:

студент _____ учебной группы
«___» _____ 202__ г.

подпись И.О. Фамилия

Руководитель:

Должность,
ученая степень, ученое звание,
специальное звание (при наличии)
«___» _____ 202__ г.

подпись И.О. Фамилия

Отчет защищен на оценку _____
Дата защиты отчета «___» _____ 202__ г.

Екатеринбург 202__

ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
Введение.....	
Глава 1. Пожарная опасность растворителей и пути ее снижения.....	
1.1. Общая характеристика и классификация растворителей.....	
1.2. Оценка пожарной опасности растворителей.....	
1.3. Влияние химического состава и строения органических веществ на температуру их вспышки.....	
1.4. Влияние образования межмолекулярных водородных связей на температурные показатели пожарной опасности.....	
1.5. Выводы.....	
Глава 2. Исследование влияния добавок полярных органических жидкостей на температуру вспышки растворителей.....	
2.1. Характеристика приборов и оборудования.....	
2.2. Характеристика исходных веществ.....	
2.3. Методика проведения экспериментальных исследований.....	
2.4. Исследование влияния добавок уксусной кислоты на температуру вспышки <i>n</i> -пропилового и <i>n</i> -бутилового спиртов.....	
2.5. Исследование влияния добавок гептилового спирта на температуру вспышки <i>n</i> -пропилового и <i>n</i> -бутилового спиртов	
2.6. Исследование влияния добавок нитробензола на температуру вспышки <i>n</i> -пропилового и <i>n</i> -бутилового спиртов	
2.7. Исследование влияния добавок триэтаноламина на температуру вспышки <i>n</i> -пропилового и <i>n</i> -бутилового спиртов.....	
2.8. Исследование влияния добавок 5 %-го раствора ПАВ на температуру вспышки <i>n</i> -пропилового и <i>n</i> -бутилового спиртов.....	
2.9. Исследование влияния добавок огнезащитного состава «терминус-13» на температуру вспышки <i>n</i> -пропилового и <i>n</i> -бутилового спиртов.....	

2.10. Сравнение эффективности добавок органических веществ, используемых в качестве добавок к <i>n</i> -пропиловому и <i>n</i> -бутиловому спиртам с целью повышения температуры вспышки	
2.11. Выводы.....	
Глава 3. Экономическая часть.....	
3.1. Расчёт стоимости смешанных растворителей с различными добавками на основе <i>n</i> -пропилового и <i>n</i> -бутилового спиртов.....	
3.2. Расчёт экономического ущерба в случае возникновения пожара...	
3.3. Выводы.....	
Заключение.....	
Список использованной литературы.....	
Приложение	

ВВЕДЕНИЕ

Целью практики по получению первичных умений и навыков научно-исследовательской деятельности (научно-исследовательская работа) является формирование у обучающихся компетенций исследователя и получение опыта планирования и проведения научно-исследовательской работы.

Для достижения поставленной цели предусматривается решение следующих основных задач:

- формирование способности планирования комплексных, в том числе междисциплинарных, исследований;
- выработка комплекса навыков проведения научного исследования в области судебной экспертизы;
- овладение навыками анализа, систематизации и обобщения результатов исследования;
- овладение навыками практического применения полученных знаний, а также основ методологии научных исследований при планировании, организации и проведении научно-исследовательской работы;
- формирование навыков научной дискуссии, презентации и публичной защиты исследовательских результатов.

Практика проводилась на базе кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Уральского института ГПС МЧС России.

При проведении исследований использовался прибор для определения температуры вспышки в открытом тигле (ТВО). Методика определения температуры вспышки в открытом тигле приведена в экспериментальной части отчёта.

Проблема расследования поджогов до сегодняшнего дня решена еще далеко не полностью. Одной из главных задач эксперта при решении данной проблемы является обнаружение остатков инициаторов горения в зоне очага пожара и определение их причастности к возникновению горения. Для совершения поджогов наиболее часто применяют в качестве инициаторов

горения различные легко воспламеняющиеся жидкости и горючие жидкости (далее ЛВЖ и ГЖ). Зачастую это растворители. Растворители представляют собой токсичные, легковоспламеняющиеся жидкости, состоящие из индивидуальных веществ, или их смеси, хорошо растворяющие в себе мало- и неполярные органические вещества. Данные вещества применяются в промышленных отраслях (лакокрасочная (ацетон, бутиловый спирт, этилацетат), лесохимическая (пропиловый спирт), фармацевтическая (бутилацетат), парфюмерная (этанол) и др.), и не без успеха в быту при покрасочных работах снаружи и внутри помещений домов и квартир, при очистке заржавевших деталей, и обезжиривании различных поверхностей. Но, несмотря на все профилактические работы и мероприятия, направленные на обеспечение пожарной безопасности на предприятиях, во всем мире продолжают происходить пожары с участием растворителей.

Целью настоящей работы является: исследование влияния химического состава растворителей на температуру их вспышки и определение качественного и количественного состава добавок органических веществ, введение которых позволит снизить их пожарную опасность.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. изучить влияние химического состава и строения органических соединений, используемых в качестве растворителей, на температуру их вспышки и выделить органические вещества, которые способны повысить его температуру вспышки;
2. экспериментальным путем определить температуру вспышки предлагаемых смешанных растворителей и оценить их эффективность с точки зрения пожарной безопасности.
3. Оценить экономическую эффективность применения предлагаемых смешанных растворителей.

Объект исследования: легковоспламеняющиеся жидкости, применяемые для поджога.

Предмет исследования:

Методы исследования:

1. ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ РАСТВОРИТЕЛЕЙ И ПУТИ ЕЁ СНИЖЕНИЯ

1.1. Общая характеристика и классификация растворителей

Растворители — это органические или неорганические соединения, а также смеси, способные растворять различные вещества [1]. Данные смеси используются во многих отраслях, а в частности, в химической промышленности, в производстве резиновых и резинотехнических изделий, в приборо- и машиностроении, для получения лакокрасочных материалов, в обувном и кожгалантерейном производствах, в медицинской промышленности и других отраслях.

В зависимости от назначения к растворителям предъявляются различные требования: хорошая растворяющая способность, химическое постоянство, отсутствие химического взаимодействия с растворяемым веществом, соответствующие температуры кипения и замерзания, огнестойкость, малая токсичность и т. д. Так растворители, используемые для медицинских и фармацевтических целей, должны обладать высокой степенью чистоты. О степени чистоты растворителей судят по прозрачности, бесцветности, температуре кипения, показателю преломления, по спектрам поглощения и другим параметрам.

По химическому строению растворители делят на органические и неорганические. К неорганическим растворителям относят легкоплавкие галогениды, оксогалогениды (например, сульфурилхлорид, тионилхлорид), азотсодержащие растворители (жидкий NH_3 , гидразин, гидроксилламин и др.), фтористоводородную кислоту и др. Так одним из самых распространенных и универсальных неорганических растворителей является вода. В ней в тех или иных количествах могут растворяться почти все вещества. Вода — основной растворитель и для лекарственных веществ. Однако есть медикаменты, которые в ней практически не растворимы, а некоторые подвергаются

гидролизу. В водных растворах могут развиваться микроорганизмы, поэтому она не всегда применима. В качестве растворителя иногда используют ртуть, которая растворяет металлы, образуя с ними амальгамы.

Органические растворители принадлежат к следующим классам соединений: алифатические и ароматические углеводороды (бензол, толуол, ксилол), их галогено- и нитропроизводные, смеси углеводородов (бензины, керосины), карбоновые кислоты, спирты (этиловый, бутиловый, метиловый, изопропиловый), сложные и простые эфиры (бутилацетат, этилацетат), кетоны (ацетон). В качестве растворителей применяют и смеси указанных веществ. Алифатические и ароматические углеводороды хорошо растворяют растительные и минеральные масла, жиры, битумы, воски и парафины, многие синтетические смолы и каучуки. Спирты плохо растворяют жиры, масла, битумы, воски и парафины, но хорошо растворяют нитроцеллюлозу, полиакриловые, полиэфирные смолы и другие гидрофильные вещества. Однако добавка спиртов к некоторым растворителям типа углеводородов усиливает их растворяющую способность. Эфиры хорошо растворяют полярные синтетические смолы: производные целлюлозы, виниловые, акриловые и др.

Также растворители можно классифицировать по физическим свойствам [1]. Растворители с температурой кипения ниже 100°C при 760 мм рт. ст. относят к низкокипящим, с температурой кипения выше 150°C – к высококипящим. По степени летучести растворители подразделяют на легколетучие, среднелетучие и труднолетучие. Летучесть зависит от теплоты испарения. По вязкости растворители подразделяют на маловязкие (менее 2 мПа·с при 20 °C), средней вязкости (2–10 мПа·с) и высоковязкие (более 10 мПа·с).

Проанализировав растворители по их свойствам (Приложение 1) были определены наиболее распространённые: амилацетат, бутанол, бутилацетат, ксилол, изопропанол, метанол, пропанол, толуол, уайт-спирит, этилацетат и др. Все из вышеперечисленных сольвентов представляют собой высокою

пожарную опасность, так как являются легковоспламеняющимися жидкостями.

1.2. Оценка пожарной опасности растворителей

Во многих технологических процессах, открытого и закрытого типа, в качестве растворителей используются легковоспламеняющиеся жидкости, которые так же в больших количествах находятся на складах хранения, что обуславливает повышенную пожарную опасность. Поэтому показатели пожарной опасности находятся в зависимости друг от друга, и других физико-химических свойств жидкости. Из этого следует, что зная зависимость показателей пожарной опасности органических жидкостей от их химического состава и строения можно прогнозировать пожароопасные свойства растворителей, а также подбирать добавки, позволяющие изменять их физико-химические характеристики, в целях пожаро- и взрывобезопасности.

Для этого проанализируем показатели пожарной опасности наиболее распространённых сольвентов [2,3]. Значения показателей пожарной опасности (температуры вспышки и самовоспламенения, нижний концентрационный предел воспламенения) представлены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Показатели взрывоопасности и пожарной опасности растворителей

Растворитель	Относительная скорость испарения	Температура, °С		Нижний предел воспламенения паров	
		вспышки	самовоспл.	объемный	г/м ³
Амилацетат	-	20	378,5	1,1	58,3
Ацетон	1,8 - 2,1	-20	500	2,15	52
Бензин-растворитель	3,5	-30	250	1	37
Бутилацетат	11,8 - 12,5	13	371	1,7	80,6
Дихлорэтан	-	-	-	6,5	-

Ксилол	13,5	17	495	1	43,5
Скипидар	20	30	253	0,7	36,2
Сольвент-нафта	27	34	495	-	58,2
Спирт бутиловый	33	34	410	1,7	51
Спирт изобутиловый	24	27,5	371	1,9	7,3
Спирт метиловый	-	-1	475	3,5	46,5
Спирт этиловый	8,3	11	432	2,6	49
Спирт пропиловый	-	23	371	2,3	56,3
Толуол	5,1	4 - 7	549	1,3	48,2
Уайт-спирит	54	35	270	1,4	-
Этилацетат	2,9	-4	400	2,3	82,7

Температура вспышки является одним из полноправных показателей физико-химических свойств жидких веществ и материалов. Основное его назначение – это применение его в качестве критерия при классификации воспламеняющихся жидкостей на легковоспламеняющиеся (ЛВЖ) и горючие (ГЖ). В разных странах на протяжении более чем вековой истории использовались различные подходы в классификации ЛВЖ и ГЖ, что отмечено в работе [4]. Однако в настоящее время жидкости подразделяются на 3 группы со своими параметрами температуры вспышки. Так жидкости делятся на:

- негорючие (несгораемые) - вещества и материалы, не способные к горению в воздухе;
- трудно горючие (трудно сгораемые) - вещества и материалы, способные гореть в воздухе при воздействии источника зажигания, но не способные самостоятельно гореть после его удаления;
- горючие (сгораемые) - вещества и материалы, способные самовозгораться, а также возгораться при воздействии источника зажигания и самостоятельно гореть после его удаления. Горючие жидкости с температурой вспышки не более 61°C в закрытом

тигле или 66°C в открытом тигле, относят к легковоспламеняющимся. Особо опасными называют легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28°C [5].

Из данных, представленных в таблице видно, что все жидкости, применяемые в качестве растворителей, относятся к легковоспламеняющимся жидкостям (ЛВЖ), и большая их часть является особо опасными. Наибольшей пожарной опасностью по температуре самовоспламенения характеризуются: этилацетат, уайт-спирит и скипидар. По концентрационным пределам воспламенения наибольшей пожарной опасностью отличаются: амилацетат, ксилол, скипидар, толуол. Из этого следует, что органические растворители хорошо испаряясь, могут образовывать взрывоопасные концентрации с воздухом, но отказаться от них не представляется возможным из-за обширного спектра применения.

Взаимосвязь показателя пожарной опасности различных веществ от их химического строения была многократно отмечена исследователями в серии своих работ [6-16]. Так в публикации [6] рассматривался вопрос о поиске показателей пожарной опасности изомерных спиртов расчетным путем. Было установлено, что температуры вспышки, воспламенения и самовоспламенения, а также температурные пределы воспламенения для изомерных спиртов могут быть рассчитаны по уравнениям, где вместо обычного применения характеристики длины основной углеродной цепи, необходимо использовать значение длины условной углеродной цепи с учетом выведенного исследователями правила «углеродной цепи», которое было предложено в дальнейшем. В ходе расчетов были выявлены незначительные расхождения. Также в работах [7-16] исследованы зависимости температур воспламенения, вспышки, самовоспламенения, температурных и концентрационных пределов от длины углеродной цепи. Предложено правило «углеродной цепи» для прогнозирования температур вспышки, воспламенения, самовоспламенения и температурных пределов

распространения пламени нелинейных алканов и циклоалканов. Было выдвинуто предположение, что в темной области пламени, доминирующей химической реакцией является не окисление спиртов до альдегидов и карбоновых кислот, а их дегидратация с образованием соответствующих олефинов, что подтвердилось впоследствии экспериментальными исследованиями. Было отмечено действие правила «углеродной цепи» при прогнозе физико-химических (плотность, температура кипения, показатель преломления, теплота парообразования) и пожароопасных свойств (температура вспышки, температура самовоспламенения, нижний и верхний концентрационные пределы распространения пламени) на примере алифатических спиртов, кетонов, простых эфиров, карбоновых кислот, нитроалканов, сложных эфиров, хлоралканов [7-15]. В работе [16] предложен аддитивно-групповой метод, как вариант расчета температуры вспышки сложных эфиров.

В работах [17, 18] обсуждаются пожароопасные свойства, в частности, температура вспышки индивидуальных и смешанных органических растворителей и их смесей с водой. Установлено, что с увеличением содержания воды в водно-органических смесях, как и следовало ожидать, пожароопасность уменьшается.

По целому ряду причин в различных отраслях промышленности (металлургическая, автомобильная, лакокрасочная, авиационно-космическая, химическая и др.) применяют не чистые (индивидуальные) растворители, а их смеси. Причин использования именно смешанных растворителей несколько: создание оптимальных условий процесса плёнообразования, реализация гидрофильно-гидрофобного баланса для возможности удаления как гидрофильных, так и гидрофобных загрязнений, корректировка вязкости, экономичность и другие [19]. Высокая пожарная опасность растворителей – это ещё одна важная причина, по которой целесообразно использовать именно смешанные растворители с целью снижения их пожарной опасности.

Таким образом, использование добавок менее пожароопасных органических жидкостей, будет способствовать понижению пожарной опасности смешанного растворителя.

Известны пожаробезопасные растворители, содержащие элементы-антипирены [19]. В первую очередь следует сказать о фреонах (насыщенных фторхлоруглеводородах). В 70-80 годах прошлого века фреоны начали активно использоваться для отмывки печатных узлов. К сожалению, по объективным причинам это направление, в конце концов, превратилось в тупиковую ветвь. При ультрафиолетовом облучении в присутствии кислорода воздуха фреоны разрушаются с образованием радикалов. Радикалы реагируют с молекулами озона, что приводит к уменьшению концентрации молекул озона в стратосфере и разрушению озонового слоя. Венская конвенция 1985 года и соответственно Монреальский протокол 1987 года ввели запрет на производство и использование фреонов (галогенпроизводных предельных углеводородов) в технологических процессах. Однако в настоящее время ведутся разработки безопасных фреонов, способных разрушаться в атмосфере с образованием малоактивных, экологически безопасных веществ [19].

Показатели пожарной опасности находятся в определённой связи, как между собой, так и с другими физико-химическими свойствами. Зная зависимость показателей пожарной опасности органических жидкостей от их химического состава и строения можно прогнозировать пожароопасные свойства растворителей, а также подбирать добавки, позволяющие изменять их физико-химические характеристики, в целях пожаровзрывобезопасности.

1.3 Влияние химического состава и строения органических веществ на температуры их вспышки

Ранее в работе [20] уже рассматривалось изменение температур воспламенения в гомологических рядах различных классов органических веществ (алканов, кетонов, альдегидов, спиртов и карбоновых кислот), где для

анализа температур воспламенения использовали справочные данные [21, 22]. Рассматривались члены гомологических рядов с количеством атомов углерода в цепи от 5 до 8. Результаты анализа представлены на диаграмме (рис. 1.1.)

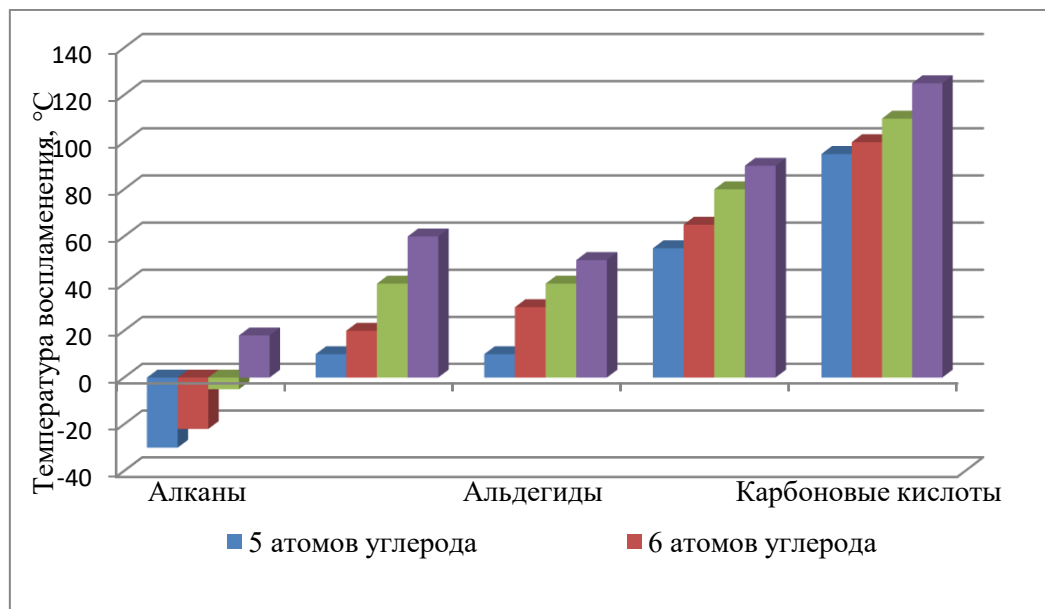


Рис. 1.1. Температура воспламенения различных классов органических соединений

Как видно из диаграммы температура воспламенения повышается при увеличении количества атомов углерода в цепи, а также в следующей последовательности классов органических соединений: *предельные углеводороды < кетоны < альдегиды < спирты < карбоновые кислоты*.

Повышение температуры воспламенения в гомологических рядах рассмотренных классов соединений можно объяснить увеличением длины диполя и как следствие дипольного момента молекул [23]. Всё это приводит к тому, что усиливаются межмолекулярные водородные связи, удерживающие молекулы в жидком состоянии и способствующие повышению теплоты испарения, температуры кипения и как следствие температур вспышки и воспламенения органических жидкостей.

Таким образом, самыми высокими температурами воспламенения характеризуются предельные спирты и одноосновные карбоновые кислоты.

Это вызвано образованием межмолекулярных водородных связей, образующихся между положительно заряженным водородом гидроксильной группы одной молекулы и отрицательно заряженным кислородом другой молекулы. Это повышает энергию связи молекул в целом, что способствует их удержанию в жидком состоянии.

Так же был проведен анализ справочных данных повышения температуры вспышки в гомологических рядах различных классов органических веществ (алканов, кетонов, альдегидов, спиртов и карбоновых кислот). Для этого воспользовались справочными данными [21, 22], которые при анализе показали практически аналогичные данные, что и при анализе температуры воспламенения в работе [20].

Анализ справочных данных приводит к выводу, что введение добавок спирта или карбоновой кислоты к растворителям, которые способны образовывать с ними межмолекулярные водородные связи, приведет к повышению температуры воспламенения [20], что также равносильно и для повышения температуры вспышки. Так же в этой работе был проведен ряд экспериментальных исследований, подтвердивших теорию о повышении температуры воспламенения при введении добавок спирта или карбоновой кислоты. Для подтверждения влияния межмолекулярных водородных связей на температуру вспышки, так же необходимо произвести экспериментальные исследования.

1.4. Влияние образования межмолекулярных водородных связей на температурные показатели пожарной опасности

Известно, что межмолекулярное (диполь-дипольное) притяжение, особенно водородная связь, оказывает большое влияние на физические свойства многих соединений. Разнообразие физических свойств жидких веществ определяется главным образом действующими внутри них

межмолекулярными силами притяжения, благодаря которым молекулы удерживаются возле друг друга. Рассмотрим взаимосвязь между строением вещества, действующими в нем межмолекулярными силами и его физическими свойствами.

Все межмолекулярные силы имеют электростатическую природу. Они подчиняются закону Кулона, согласно которому разноименные заряды притягиваются, а одноименные отталкиваются (рис. 1.2).

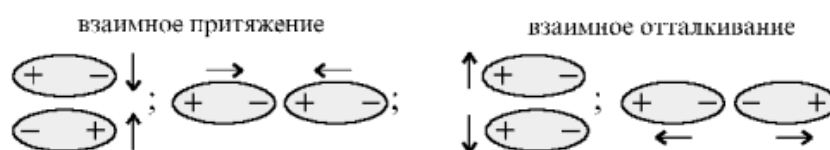


Рис. 1.2. Типы ориентации диполей
(стрелками показано направление действия сил)

В простейшем случае сила притяжения или отталкивания (F) прямо пропорциональна произведению модулей зарядов (q_1 и q_2) и обратно пропорциональна квадрату расстояния (r) между ними:

$$F = k(|q_1||q_2|)/r^2, \quad (1)$$

где k – коэффициент пропорциональности.

Остановимся на двух типах межмолекулярных сил, характерных для органических веществ: диполь-дипольном взаимодействии (диполь-дипольные силы действуют между полярными молекулами) и дисперсионном (наведенный диполь – наведенный диполь) взаимодействии.

Большое влияние на физико-химические характеристики органических веществ (температуру кипения, температуру плавления, теплоту испарения) оказывает полярность молекул. Мерой полярности является электрический момент диполя.

Электрический диполь — система из двух равных по величине и противоположных по знаку зарядов q , находящихся на расстоянии l , называемом длиной диполя.

Полярность молекулы тем больше, чем больше абсолютная величина заряда и длины диполя. Мерой полярности служит произведение $q \cdot l$, называемое электрическим моментом диполя μ :

$$\mu = q \cdot l. \quad (2)$$

где q – заряд, l – длина диполя.

Единицей измерения μ служит Дебай (Дб). $1 \text{ Дб} = 3,3 \cdot 10^{-30} \text{ Кл} \cdot \text{м}$.

В молекулах, состоящих из двух одинаковых атомов $\mu = 0$. Их называют неполярными. Если такая частица попадает в электрическое поле, то в ней под действием поля произойдет поляризация — смещение центров тяжести положительных и отрицательных зарядов. В частице возникает электрический момент диполя, называемый наведенным диполем.

Величина дисперсионных сил притяжения зависит от способности молекул поляризоваться, т. е. деформировать свое электронное облако. Вообще говоря, чем больше молекула и чем дальше ее валентные электроны располагаются от ядер, тем больше ее поляризуемость. Значит, дисперсионные силы возрастают с увеличением размеров молекул и их молекулярной массы [24].

Рассмотрим влияние образования межмолекулярных связей на температуры кипения, вспышки и воспламенения. Водородные связи влияют на физические (температуру кипения, температуру плавления, летучесть, вязкость, теплоту испарения) и химические (кислотно-основные) свойства соединений [25]. Водородная связь *в некоторых соединениях объясняет аномально высокие значения их температур плавления и кипения, поверхностного натяжения и энтальпии испарения.*

Межмолекулярные водородные связи обуславливают ассоциацию молекул, что приводит к повышению температур кипения и плавления вещества. Например, этиловый спирт $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, способный к ассоциации, кипит

при $+78,3^{\circ}\text{C}$, а диметиловый эфир CH_3OCH_3 , не образующий водородных связей, лишь при 24°C (молекулярная формула обоих веществ $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$). То есть на физико-химические характеристики веществ оказывает влияние не только состав, но и строение молекул (порядок соединения атомов в молекуле).

Образование водородных связей (Н-связей) с молекулами растворителя способствует улучшению растворимости. Так, метиловый и этиловый спирты (CH_3OH , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), образуя Н-связи с молекулами воды, неограниченно в ней растворяются. Внутримолекулярная водородная связь образуется при благоприятном пространственном расположении в молекуле соответствующих групп атомов и специфически влияет на свойства. Например, Н-связь внутри молекул салициловой кислоты повышает ее кислотность (рис. 1.3.).

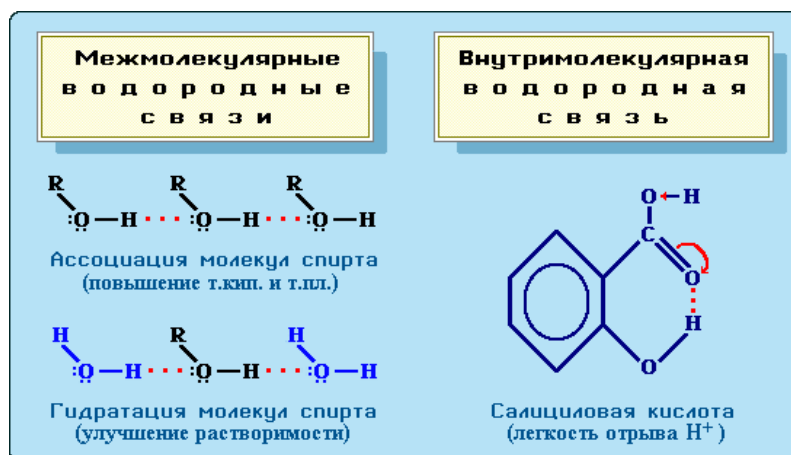


Рис. 1.3. Водородные связи и их влияние на свойства веществ

Можно заметить, что межмолекулярные силы притяжения в любом ряду веществ, имеющих молекулы аналогичного строения и сравнимой полярности, увеличиваются по мере возрастания молекулярной массы (M_r). Поэтому температуры кипения и соответственно вспышки и воспламенения повышаются с ростом значения молекулярной массы.

Для спиртов R-OH и аминов R-NH_2 наблюдаются удивительно высокие температуры кипения по сравнению с алканами RH и алкилгалогенидами RHal

(везде R – углеводородный заместитель). Такое явление обусловлено образованием водородных связей между положительно заряженным водородом спиртовой группы OH одной молекулы R-OH и отрицательно заряженным кислородом другой (рис 1.4).

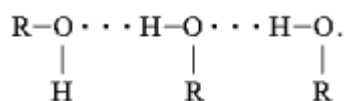


Рис 1.4. Способ образования межмолекулярных водородных связей

Силы притяжения этого типа возникают в тех веществах, где атом водорода присоединен к атомам азота (H–N) или кислорода (H–O). Протоны в группе C–H не образуют водородных связей.

Энергия водородных связей лежит в пределах от 4 до 25 кДж/моль, т. е. составляет лишь несколько процентов от значения энергии обычных химических связей (например, $E_{\text{св}}(\text{C}-\text{H}) = 413$ кДж/моль, $E_{\text{св}}(\text{N}-\text{H}) = 391$ кДж/моль). Другими словами, отдельные водородные связи в 10–50 раз слабее типичных ковалентных связей, однако они играют важную роль.

Способность спиртов образовывать межмолекулярные водородные связи влияет на их температуры кипения (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Температуры кипения некоторых спиртов

Спирт	Формула	Молекулярная масса, °C	Температура кипения, °C
Метанол	CH ₃ -OH	32	65
Этанол	C ₂ H ₅ -OH	54	78
Пропанол-1	C ₃ H ₇ -OH	60	97
Бутанол-1	C ₄ H ₉ -OH	74	118

Из данных, представленных в таблице видно, что в гомологическом ряду спиртов, при увеличении молекулярной массы температура кипения возрастает. Повышение температуры кипения связано, с повышением дипольного момента молекул за счёт увеличения длины диполей.

Большое влияние на температуру кипения оказывает также место расположения гидроксильной группы (у первого или второго атомов углерода). Более высокие значения температур кипения имеют спирты нормального строения (гидроксильная группа замещает атом водорода у первого атома углерода) [23].

Рассмотрим полярность органических соединений с карбонильной группой (альдегидов и кетонов). Карбонильная группа $C=O$ и присоединенные к ней атомы лежат в одной плоскости. Углы связей при карбониле близки к 120° . Так, у ацетона геометрия молекулы представлена на рисунке 1.5.

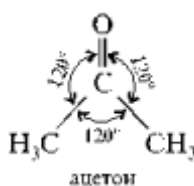


Рис. 1.5. Геометрия молекулы ацетона

Наличие карбонильной группы обуславливает существенную полярность альдегидов и кетонов. Температуры кипения у альдегидов и кетонов выше, чем у углеводородных аналогов (близких по молекулярной массе). Причина здесь в том, что карбонильные соединения более полярны и диполь-дипольное притяжение между их молекулами сильнее.

В сравнении со спиртами температуры кипения альдегидов и кетонов ниже, поскольку в их молекулах нет поляризованного водорода (H^+) и они не образуют водородных связей друг с другом. Так температура кипения пропаналя (альдегида) составляет $49^\circ C$, а пропанола (спирта) $97^\circ C$.

Альдегиды и кетоны способны образовывать водородные связи с протонами воды, поэтому они более растворимы в воде, чем углеводороды, но менее растворимы, чем спирты.

Структурной особенностью карбоновых кислот является карбоксильная группа –COOH. Карбонильный углерод и три присоединенных к нему атома лежат в одной плоскости. Для простейшей – муравьиной – кислоты это показано на рисунке 1.6.

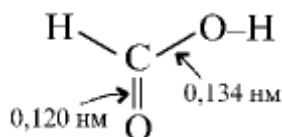


Рис. 1.6. Строение молекулы муравьиной кислоты

Карбоновые кислоты относятся к полярным соединениям. Например, для уксусной, пропионовой и бензойной кислот дипольный момент (m) находится в диапазоне от 1,7 до 1,9 Д. Температуры плавления и кипения карбоновых кислот выше, чем таковые углеводородов и спиртов сходного молекулярного строения, что свидетельствует о сильном межмолекулярном взаимодействии.

Большой вклад в эти силы притяжения вносит водородная связь. Причем гидроксильная группа одной молекулы карбоновой кислоты выступает донором протона по отношению к карбонильному кислороду другой. В результате две молекулы кислоты удерживаются вместе двумя водородными связями (рис. 1.7.).

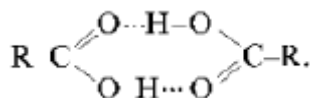


Рис. 1.7. Межмолекулярная водородная связь карбоновых кислот

Такая водородная связь настолько прочна, что некоторые кислоты существуют в виде димеров даже в газовой фазе. В жидкой фазе содержится

смесь связанных водородной связью димеров и агрегатов, состоящих из большого числа молекул.

1.5. Выводы

Анализ литературных данных позволяет сделать следующие выводы:

1. Практически все жидкости, применяемые в качестве растворителей, относятся к легковоспламеняющимся жидкостям (ЛВЖ), так как температуры их вспышки ниже 61 °С, т.е. представляют высокую пожарную опасность. Для снижения пожарной опасности растворителей целесообразно использовать добавки органических жидкостей с более высокой температурой вспышки и воспламенения, т.е. смешанные растворители.
2. Большое влияние на температуры вспышки и воспламенения оказывает способность молекул образовывать межмолекулярные водородные связи, повышающие энергию связи молекул в целом и удерживающие эти молекулы в жидком состоянии. Образование межмолекулярных водородных связей между основным компонентом растворителя и молекулами добавки полярных органических веществ способствуют дополнительному повышению температур вспышки и воспламенения.
3. Знание таких характеристик молекул органических веществ, как энергия химической связи, дипольный момент, длина диполя, полярность связи, водородная связь, поляризуемость и электроотрицательность атомов, позволяет прогнозировать физические свойства соединений разных классов (температуры кипения и плавления, растворимость в воде теплоту испарения) и как следствие показатели пожарной опасности (температуры вспышки и воспламенения).

4. Температура вспышки различных классов органических веществ повышается при увеличении атомов углерода в цепи (соблюдается правило «углеродной цепи»), а также в следующей последовательности классов органических соединений: *предельные углеводороды < кетоны < альдегиды < спирты < карбоновые кислоты*. Таким образом, введение добавок карбоновых кислот или предельных спиртов к органическим растворителям, молекулы которых способны образовывать с ними межмолекулярные водородные связи, приведёт к дополнительному повышению температур вспышки и воспламенения полученных смешанных растворителей.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК ПОЛЯРНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ НА ТЕМПЕРАТУРУ ВСПЫШКИ РАСТВОРИТЕЛЕЙ

2.1. Характеристика приборов и оборудования

Исследования проводились на приборе «Закрытый тигель» (ТВЗ) (рис. 2.1) в соответствии с ГОСТ 12.1.044-89.

Прибор ТВЗ предназначен для определения температуры вспышки жидкостей, нагреваемых с установленной скоростью в закрытом герметичном тигле. В условиях испытания над поверхностью образуется смесь паров и газов с воздухом, способная вспыхивать в воздухе от источника зажигания. Наименьшая температура воспламенения соответствует температуре вспышки исследуемой жидкости.

Условия эксплуатации:

- температура окружающей среды: -10~50 °С;
- влажность: 85%

Технические характеристики прибора ТВЗ:
Габаритные размеры и масса: 465x225x275 мм, 12 кг.



Рис. 2.1. Аппарат для определения температуры вспышки «Закрытый тигель»
1- блок управления; 2- двигатель с приводом мешалки; 3- тигель; 4- термоблок.

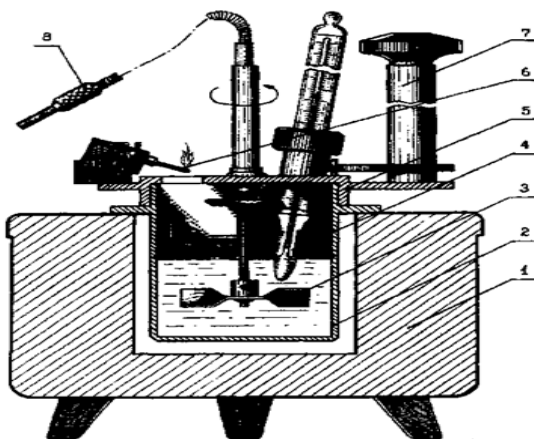


Рис. 2.2. Прибор для определения температуры вспышки (поперечный
разрез) в закрытом тигле: 1 – нагреватель; 2 – тигель; 3 – мешалка; 4 – термометр; 5 –
крышка; 6 – фитиль; 7 – ручка управления поджигом; 8 – гибкий вал привода мешалки.

2.2. Характеристика исходных веществ и материалов

В качестве основных компонентов смешанных растворителей были выбраны *n*-пропиловый и *n*-бутиловый спирты, так как данные вещества,

1) часто используются в качестве растворителей в различных отраслях промышленности;

2) оснащённость и технические возможности лаборатории теории горения позволили остановиться для экспериментальных исследований именно на этих органических веществах.

В данной работе использовались следующие вещества:

1. *n*-пропиловый спирт (1-пропанол) C_3H_8O , ч.д.а., легковоспламеняющаяся бесцветная жидкость.

Физико-химические характеристики:

Молярная масса - 60,09 г/моль;

Плотность – 0,801 г/см³;

Температура плавления – -127 °С;

Температура кипения – 97,8 °С;

Температура вспышки – 23°С;

Температура самовоспламенения – 371 °С.

2. *n*-бутиловый спирт (1-бутанол) $C_4H_{10}O$, ч.д.а. легковоспламеняющаяся бесцветная жидкость с характерным спиртовым запахом

Физико-химические характеристики:

Молярная масса – 74,12 г/моль;

Плотность – 0,810 г/см³;

Температура плавления – -89,53 °С;

Температура кипения – 117,25 °С;

Температура вспышки – 37 °С;

Температура самовоспламенения – 345 °С.

3. Уксусная кислота CH_3COOH , ч.д.а., легковоспламеняющаяся бесцветная жидкость с характерным резким запахом.

Физико-химические характеристики:

Молярная масса – 60,05 г/моль;

Плотность – 1,0492 г/см³;

Температура плавления – 16,75 °С;

Температура кипения – 118,1 °С;

Температура вспышки – 40 °С;

Температура воспламенения – 61 °С;

Температура самовоспламенения – 454 °С;

Молярная теплоёмкость (ст. усл.) – 123,4 Дж/(моль·К);

Энтальпия образования (ст. усл.) – -487 кДж/моль.

4. Гептиловый спирт (гептанол) $C_7H_{16}O$, ч.д.а. горючая бесцветная жидкость

Физико-химические характеристики:

Молярная масса – 116,18 г/моль;

Плотность – 0,817 г/см³;

Температура плавления – -34,1 °С;

Температура кипения – 176,3 °С;

Температура вспышки – 74 °С;

Температура воспламенения – 82 °С;

Температура самовоспламенения – 275 °С.

5. Нитробензол (мирбановое масло) $C_6H_5NO_2$, ч.д.а. бесцветная или зеленовато-желтая маслянистая жидкость с запахом горького миндаля

Физико-химические характеристики:

Молярная масса – 123,11 г/моль;

Плотность – 1,199 г/см³;

Температура плавления – -5,85 °С;

Температура кипения – 211,03 °С;

Температура вспышки – 88 °С;

Температура самовоспламенения – 482 °С

6. Триэтаноламин $C_6H_{15}O_3N$, ч.д.а. горючая гигроскопичная жидкость

Физико-химические характеристики:

Молярная масса – 149,2 г/моль;

Плотность – 1,123 г/см³;

Температура плавления –21,2 °С;

Температура кипения – 360 °С;

Температура вспышки –179 °С;

7. Водный раствор (5 %) додецилсульфат натрия $C_{12}H_{25}NaO_4S$ (бесцветные кристаллы), поверхностно-активное вещество;

Физико-химические показатели:

Молярная масса — 288.38 г/моль;

Плотность – 1.01 г/см³;

Температура плавления – 206 °С;

Температура разложения – 216 °С.

8. Огнезащитный состав «ТЕРМИНУС 13» водно-спиртовой раствор фосфорсодержащих органических антипиренов, синергетических добавок и биозащитной добавки. По ГОСТ 20022.2 относится к спирторастворимым (Л) трудновымываемым (ТВ) защитным средствам комбинированного действия для древесины.

Состав ТЕРМИНУС-13 – прозрачная бесцветная или слабоокрашенная жидкость со следующими характеристиками:

Плотность – 1,05-1,15 г/см³; вязкость – 12-15 с; кислотность – 2-3 рН.

2.3. Методика проведения экспериментальных исследований

Исследуемую жидкость наливали в тигель прибора ТВЗ в количестве 60 мл до кольцевой метки, устанавливали термометр для фиксирования температуры жидкости. Испытуемую жидкость нагревали в тигле со скоростью 1-2 °С/мин. Испытания на вспышку проводили с шагом 1 °С с проверкой на вспышку за 10 °С до ожидаемой температуры вспышки

(открывали заслонку тигля и подводили предварительно зажженный фитиль к поверхности образца на 1-2 с). За температуру вспышки принимали минимальную температуру испытуемой жидкости, при которой над поверхностью жидкости происходила вспышка паров этой жидкости. Эксперимент проводили в параллелях и определяли средние значения полученных температур вспышки.

2.4. Исследование влияния добавок уксусной кислоты на температуру вспышки *n*-пропилового и *n*-бутилового спирта

Проанализировав литературные данные, было установлено, что среди органических соединений карбоновые кислоты, наиболее склонны к образованию межмолекулярных водородных связей, поэтому в качестве добавок использовали уксусную кислоту.

Произвели расчёты температур вспышки смесей пропанола с уксусной кислотой. Для этого воспользовались методом определения расчетного значения температуры вспышки. [26].

Температуры вспышки смеси определяем по формуле:

$$t_{всп,см} = \frac{A \cdot t_B + B \cdot t_A - f \cdot (t_A - t_B)}{100}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3)$$

где *A* и *B* – концентрация компонентов смеси, причем *A* – концентрация вещества с большей температурой вспышки;

t_A, *t_B* – температуры вспышки компонентов смеси;

f – коэффициент, определяемый по таблице 2.1.

Таблица 2.1

Значение коэффициента *f* от % состава смеси

<i>A</i> %	<i>B</i> %	<i>f</i>	<i>A</i> %	<i>B</i> %	<i>f</i>
0	100	0,0	55	45	27,6
5	95	3,3	60	40	29,0
10	90	6,5	65	35	30,0
15	85	9,2	70	30	30,3

20	80	11,9	75	25	30,4
25	75	14,5	80	20	29,2
30	70	17,0	85	15	26,0
35	65	19,4	90	10	20,0
40	60	21,7	95	5	12,0
45	55	23,9	100	-	0,0
50	50	25,9	-	-	-

1) По таблице 2.2 методом интерполяции определяем коэффициент f :

пропанол + уксусная кислота; $A=0,83\%$, $B=99,17\%$, $t_A=40^\circ\text{C}$, $t_B=24^\circ\text{C}$

$$f = f_0 + \frac{A_1 - A_0}{A_2 - A_0} \cdot \frac{f_2 - f_1}{1} = 0 + \frac{0,83 - 0}{5 - 0} \cdot \frac{3,3 - 0}{1} = 0,545.$$

2) Определяем температуры вспышки смеси:

$$t_{\text{всп}}^{\text{см}} = \frac{A \cdot t_A + B \cdot t_B - f \cdot (t_A - t_B)}{100} = \frac{0,83 \cdot 40 + 99,17 \cdot 24 - 0,545 \cdot (40 - 24)}{100} = 24,04^\circ\text{C}$$

Так же провели экспериментальные исследования влияния добавок уксусной кислоты на температуры вспышки смешанных растворителей на основе пропанола и бутанола. Объём добавок составил: 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 7,0 мл. Исходные объёмы пропанола и бутанола (объём до риски) – 60 мл. За температуру вспышки принималось среднее значение 2-х параллельных измерений. Результаты расчетных и экспериментальных данных показаны в табл. 2.2 и 2.3.

Таблица 2.2

Расчётные и экспериментальные значения температур вспышки
пропанола с уксусной кислотой

Объём добавки, мл	Содержание добавки, %	Расчётные значения температуры вспышки смеси, °C	Экспериментальные значения температуры вспышки, °C
0	0	24,00	24,00
0,5	0,83	24,04	24,50
1,0	1,64	24,09	25,50
2,0	3,23	24,17	27,00
3,0	4,76	24,26	28,00
4,0	6,25	24,34	28,50
5,0	7,69	24,43	29,00
7,0	10,45	24,59	29,00

Таблица 2.3

Расчётные и экспериментальные значения температур вспышки
бутанола с уксусной кислотой

Объем добавки, мл	Содержание добавки, %	Расчётные значения температуры вспышки смеси, °С	Экспериментальные значения температуры вспышки, °С
0	0	37,00	37,00
0,5	0,83	37,01	38,50
1,0	1,64	37,02	40,00
2,0	3,23	37,03	41,50
3,0	4,76	37,05	42,50
4,0	6,25	37,06	43,50
5,0	7,69	37,08	44,00
7,0	10,45	37,11	44,00

По результатам экспериментальных исследований и проведённых расчётов построен график зависимости температуры вспышки пропанола и бутанола от объёма добавок уксусной кислоты (рис. 2.3, 2.4).

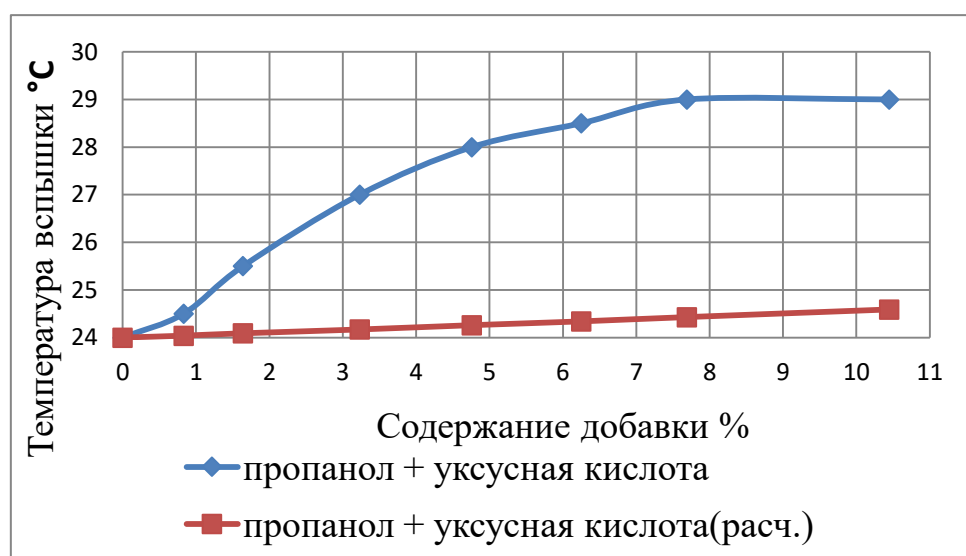


Рис. 2.3. Влияние содержания добавок уксусной кислоты на температуру вспышки пропанола

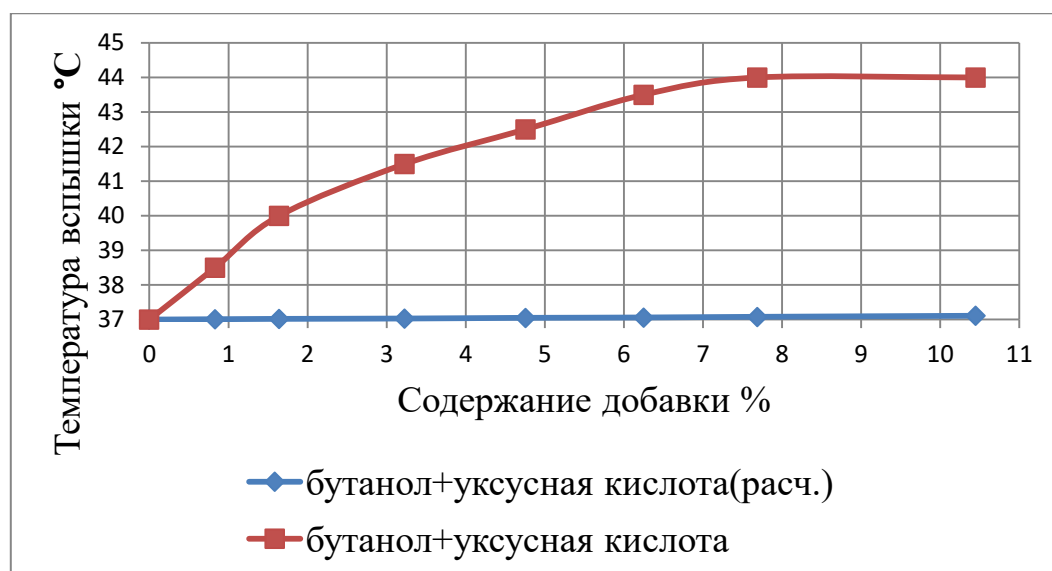


Рис. 2.4. Влияние содержания добавок уксусной кислоты на температуру вспышки бутанола

Из рис. 2.3, 2.4 видно значительную разницу между значениями расчетных и экспериментальных значений температур вспышки, которая доказывает, что повышение температуры вспышки происходит не за счет разбавления одного более пожароопасного вещества другим менее пожароопасным (расчётные данные), а за счёт образования дополнительных связей между молекулами растворителя и добавки (экспериментальные данные). Если точнее – за счёт межмолекулярных водородных связей, способствующих структурированию образующихся ассоциатов (между молекулами уксусной кислоты и пропанола (бутанола)). Образование дополнительных межмолекулярных связей, способствует удержанию молекул в конденсированном состоянии, уменьшению скорости испарения жидкости, что и приводит к повышению температуры вспышки.

Для определения оптимального содержания добавок уксусной кислоты к основным компонентам растворителя были проанализированы расчётные и экспериментальные данные по эффективности повышения температур вспышки смешанных растворителей. Для этого были построены диаграммы

эффективности введения уксусной кислоты в качестве добавки к смешанным растворителям на основе бутанола и пропанола (рис. 2.5, 2.6).

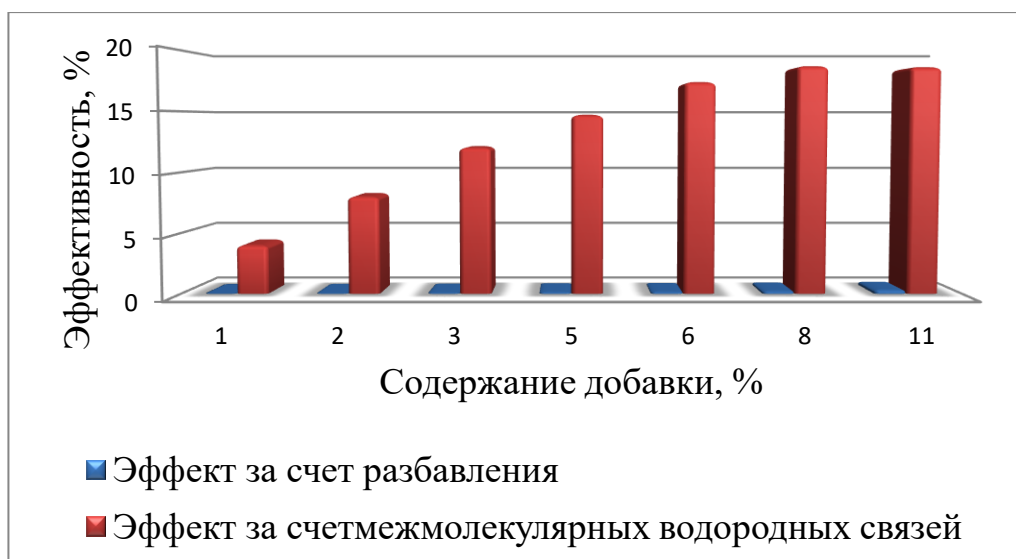


Рис 2.5. Эффективность введения добавок уксусной кислоты к бутанолу

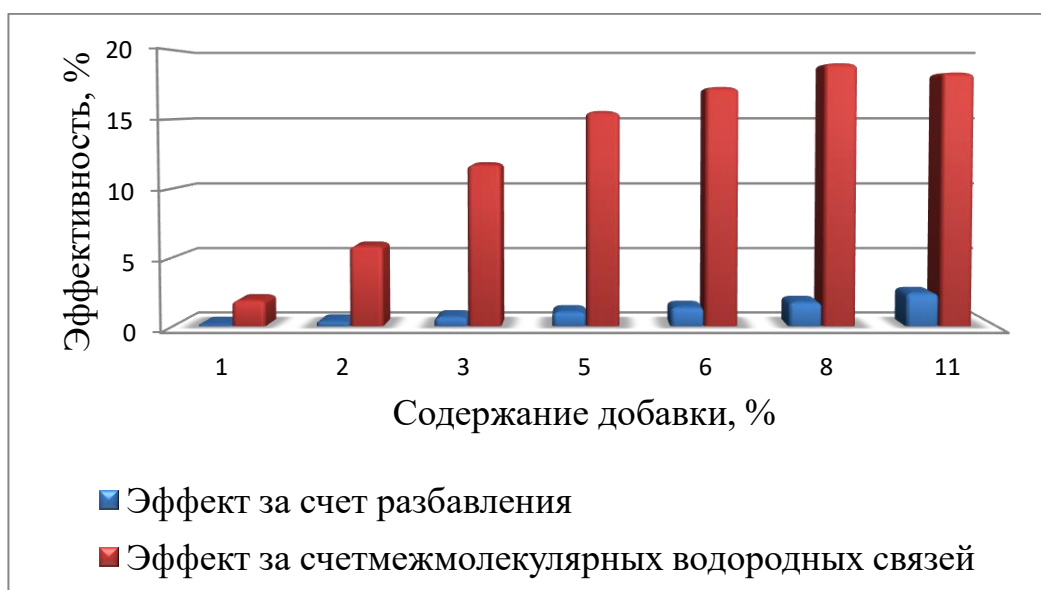


Рис. 2.6. Эффективность введения добавок уксусной кислоты к пропанолу

Анализ экспериментальных кривых показывает, что оптимальное содержание добавки уксусной кислоты в смешанных растворителях на основе бутанола и пропанола составляет приблизительно 8 %, т.к. после этого

значения кривая зависимости температуры вспышки от концентрации практически выходит на насыщение.

Для сравнения эффективности повышения температуры вспышки остальных добавок в растворителях на основе пропанола и бутанола, возьмем значения при которых содержание добавки будет равно оптимальному содержанию уксусной кислоты (8%).

2.5. Исследование влияния добавок гептилового спирта на температуру вспышки *n*-пропилового и *n*-бутилового спиртов

В качестве добавки к пропанолу и бутанолу был исследован гептанол, также образующий межмолекулярные водородные связи с полярными органическими соединениями. Результаты расчетов и экспериментальные данные приведены в табл. 2.5, 2.6 и на рис 2.7, 2.8.

Таблица 2.5

Расчетные и экспериментальные данные по определению температуры вспышки смеси пропанола с гептанолом.

Объем добавки, мл	Содержание добавки, %	Расчётные значения температуры вспышки смеси, °C	Экспериментальные значения температуры вспышки, °C
0	0	24,00	24,00
0,5	0,83	24,14	25,00
1,0	1,64	24,28	26,00
2,0	3,23	24,55	27,00
3,0	4,76	24,81	28,00
4,0	6,25	25,08	28,50
5,0	7,69	25,33	28,50
7,0	10,45	25,85	29,00

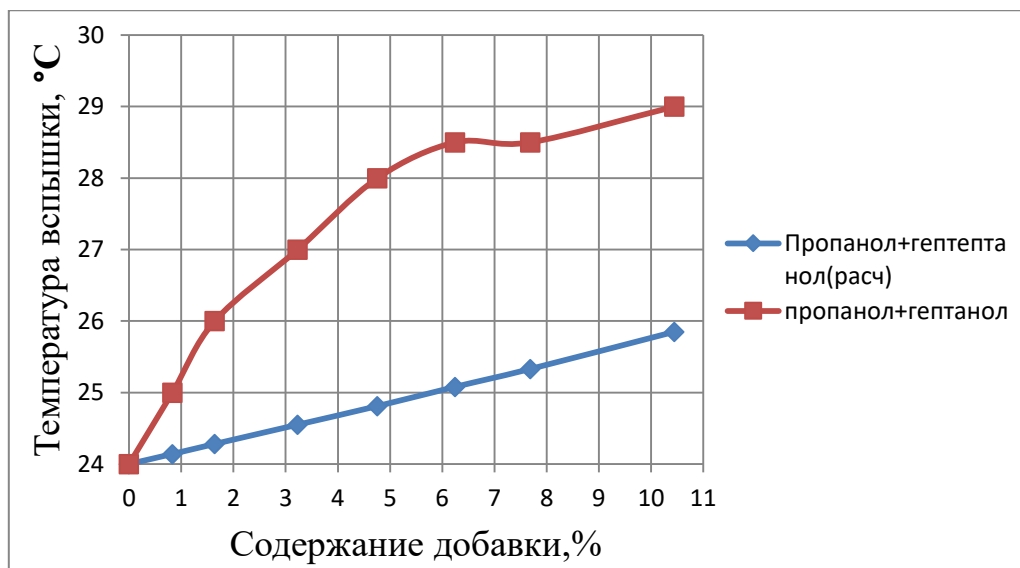


Рис. 2.7. Влияние содержания добавок гептанола на температуру вспышки пропанола

Таблица 2.6

Расчётные и экспериментальные значения температур вспышки смеси бутанола с гептанолом

Объем добавки, мл	Содержание добавки, %	Расчётные значения температуры вспышки смеси, °C	Экспериментальные значения температуры вспышки, °C
0	0	37,00	37,00
0,5	0,83	37,10	38,00
1,0	1,64	37,21	38,50
2,0	3,23	37,41	39,00
3,0	4,76	37,60	39,50
4,0	6,25	37,80	40,00
5,0	7,69	37,99	40,00
7,0	10,45	38,37	40,00

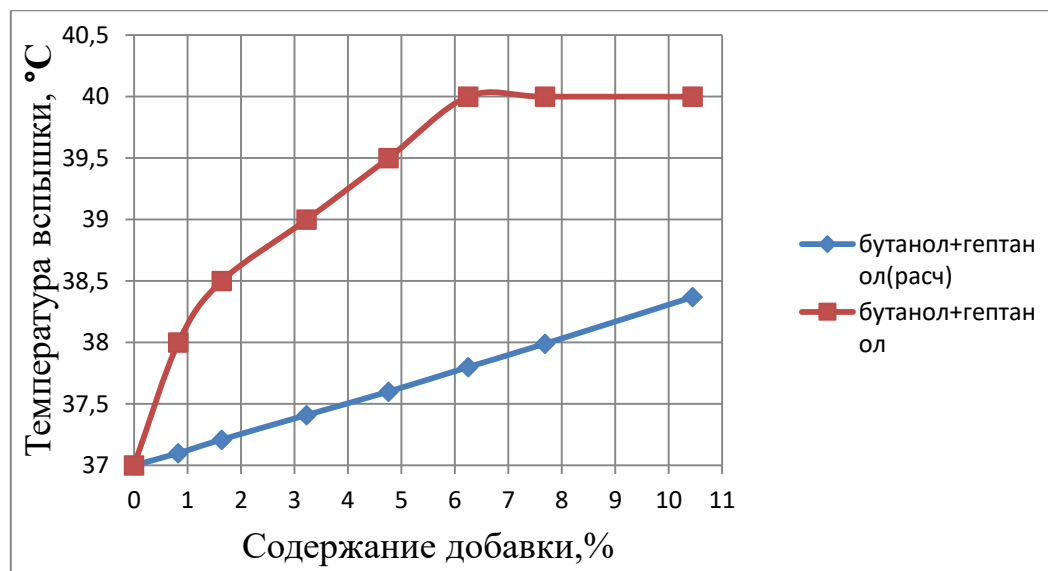


Рис. 2.8. Влияние содержания добавок гептанола на температуру вспышки бутанола

Анализ экспериментальных зависимостей показывает, что введение добавок гептанола приводит к меньшему эффекту повышения температуры вспышки, чем в опыте с уксусной кислотой, что хорошо согласуется с выводами, полученными после анализа литературных и справочных данных. Введение гептанола к основному компоненту растворителя позволило достичь повышения температуры вспышки смешанного растворителя на основе пропанола на 18,75 %, а на основе бутанола – на 8,11 %, эффект за счёт образования межмолекулярных связей составил соответственно 13,21 % и 5,43 %. Меньший эффект повышения у бутанола обусловлен меньшей полярностью его молекул, и как следствие – меньшей энергией межмолекулярных связей.

Учитывая, что добавка гептанола к смешанному растворителю на основе пропанола показала хороший эффект повышения температуры вспышки, необходимо определить оптимальное содержание добавки. Для определения оптимального содержания добавки гептилового спирта к растворителю на основе пропанола были проанализированы расчётные и экспериментальные данные по эффективности повышения температуры вспышки смешанного

растворителя. Для этого была построена диаграмма эффективности введения гептилового спирта в качестве добавки к смешанному растворителю на основе пропанола (рис. 2.9).

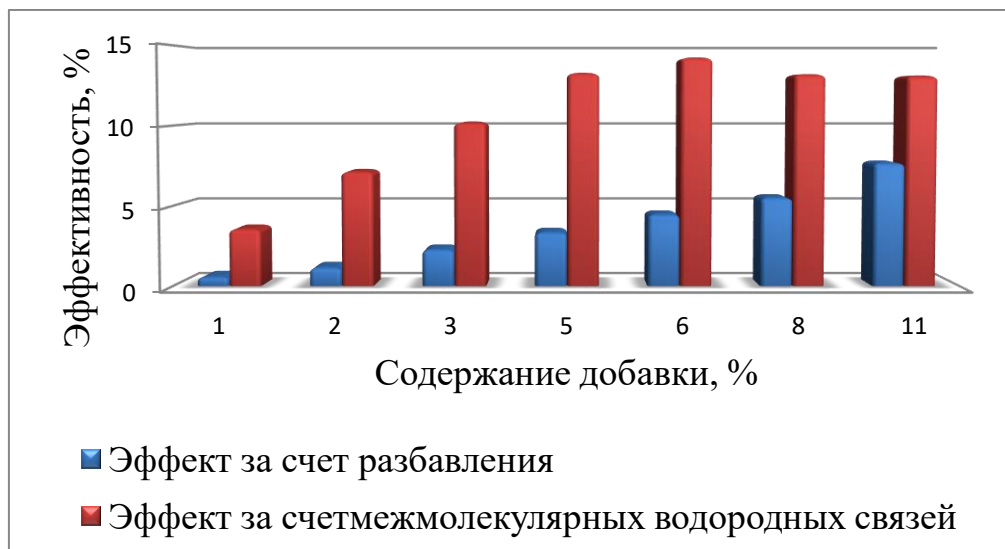


Рис. 2.9. Эффективность введения добавок гептанола к пропанолу

Анализ данной диаграммы показывает, что в отличие от уксусной кислоты (содержание оптимальной добавки 8%) оптимальное содержание добавки гептанола к смешанному растворителю на основе пропанола составило 6% и увеличило температуру вспышки за счет эффекта образования межмолекулярных связей на 14,25%, а общий эффект составил 18,75%. Это объясняется тем, что максимальная эффективность повышения температуры вспышки смешанного растворителя на основе пропанола наблюдается при содержании добавки 6%.

2.6. Исследование влияния добавок нитробензола на температуру вспышки *n*-пропилового и *n*-бутилового спиртов

В качестве добавки к пропанолу и бутанолу был исследован нитробензол, отличающийся высоким дипольным моментом и способный

образовывать межмолекулярные водородные связи с полярными органическими соединениями за счёт смещения электронной плотности на себя и повышения значения отрицательного заряда на атоме кислорода. Результаты расчетов и экспериментальные данные приведены в табл. 2.7, 2.8 и на рис 2.10, 2.11.

Таблица 2.7

Расчетные и экспериментальные данные по определению температуры вспышки смеси пропанола с нитробензолом.

Объем добавки, мл	Содержание добавки, %	Расчётные значения температуры вспышки смеси, °C	Экспериментальные значения температуры вспышки, °C
0	0	24,00	24,00
0,5	0,83	24,18	26,00
1,0	1,64	24,36	26,50
2,0	3,23	24,70	27,00
3,0	4,76	25,04	27,50
4,0	6,25	25,38	28,00
5,0	7,69	25,71	28,00
7,0	10,45	26,37	28,50

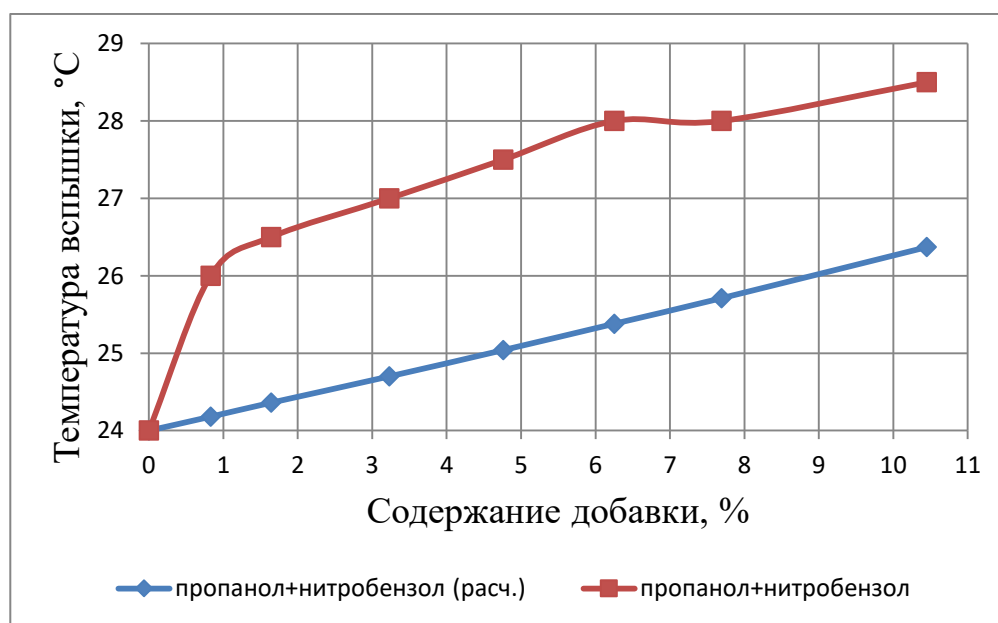


Рис. 2.10. Влияние содержания добавок нитробензола на температуру вспышки пропанола

Таблица 2.8

Расчётные и экспериментальные значения температур вспышки смеси
бутанола с нитробензолом

Объем добавки, мл	Содержание добавки, %	Расчётные значения температуры вспышки смеси, °C	Экспериментальные значения температуры вспышки, °C
0	0	37,00	37,00
0,5	0,83	37,14	38,00
1,0	1,64	37,28	38,50
2,0	3,23	37,56	39,00
3,0	4,76	37,83	39,50
4,0	6,25	38,10	40,00
5,0	7,69	38,36	40,50
7,0	10,45	38,89	41,00

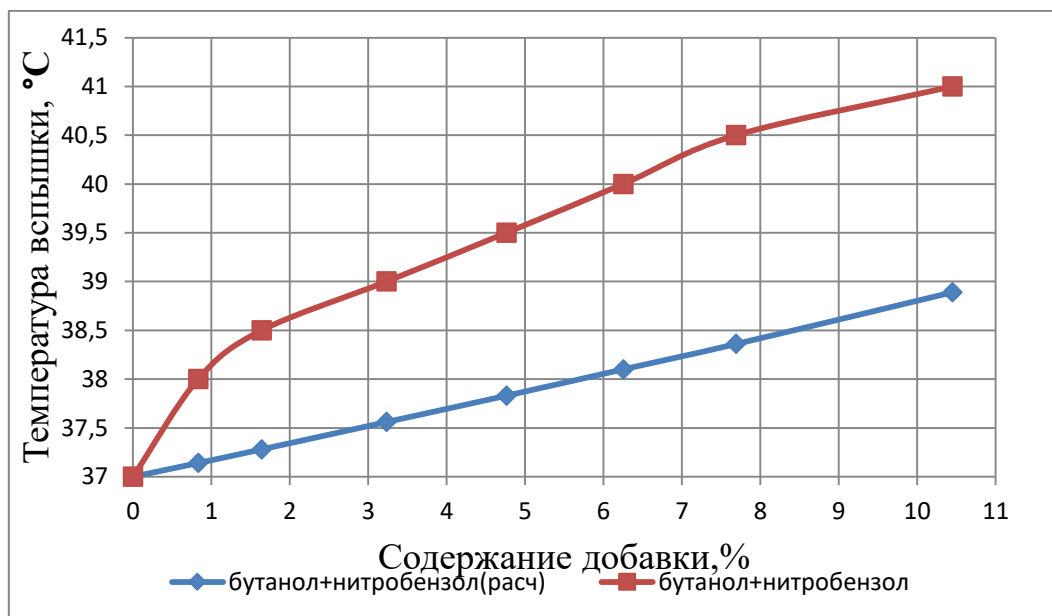


Рис. 2.11. Влияние содержания добавок нитробензола на температуру
вспышки бутанола

Анализ экспериментальных зависимостей показал, что введение добавок нитробензола приводит к меньшему эффекту повышения температуры вспышки, чем в опыте с уксусной кислотой: эффективность добавки нитробензола для пропанола составила 16,67%, а для бутанола –9,46 %,

эффект за счёт образования межмолекулярных связей составил соответственно 9,54% и 5,78%.

Учитывая, что добавка нитробензола к смешанному растворителю на основе пропанола, так же показала хороший эффект повышения температуры вспышки, необходимо определить оптимальное содержание добавки. Для определения оптимального содержания добавки нитробензола к растворителю на основе пропанола были проанализированы расчётные и экспериментальные данные по эффективности повышения температуры вспышки смешанного растворителя. Для этого была построена диаграмма эффективности введения нитробензола в качестве добавки к смешанному растворителю на основе пропанола (рис. 2.12).

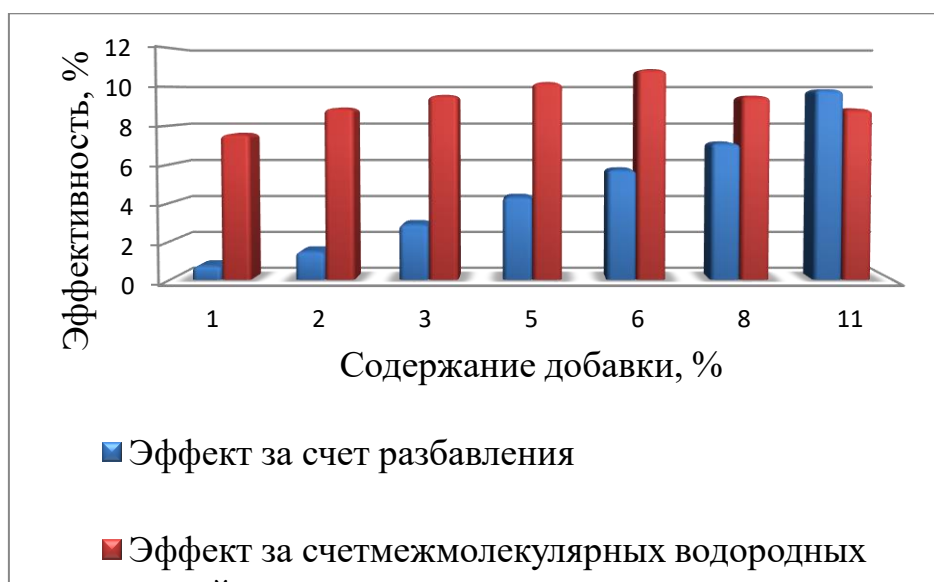


Рис 2.12. Эффективность введения добавок нитробензола к пропанолу

Анализ данной диаграммы показывает, что оптимальное содержание добавки нитробензола к смешанному растворителю на основе пропанола, как и в случае с гептанолом составило 6% и увеличило температуру вспышки за счет эффекта образования межмолекулярных связей на 10.91%, а общий эффект составил 16,66%. Это объясняется тем, что максимальная

эффективность повышения температуры вспышки смешанного растворителя на основе пропанола наблюдается при содержании добавки 6%.

2.7. Исследование влияния добавок триэтаноламина на температуру вспышки *n*-пропилового и *n*-бутилового спиртов

В качестве добавки к пропанолу и бутанолу был исследован триэтаноламин, также имеющий высокое значение температуры вспышки (179°C), но являющийся неполярной жидкостью. Результаты расчетов и экспериментальные данные приведены в табл. 2.9, 2.10 и на рис. 2.13, 2.14.

Таблица 2.9

Расчетные и экспериментальные данные по определению температуры вспышки смеси пропанола с триэтаноламином

Объем добавки, мл	Содержание добавки, %	Расчётные значения температуры вспышки смеси, °C	Экспериментальные значения температуры вспышки, °C
0	0	24,00	24,00
0,5	0,83	24,44	24,50
1,0	1,64	24,87	25,00
2,0	3,23	25,70	26,00
3,0	4,76	26,52	26,50
4,0	6,25	27,34	26,50
5,0	7,69	28,15	27,00
7,0	10,45	29,76	27,50

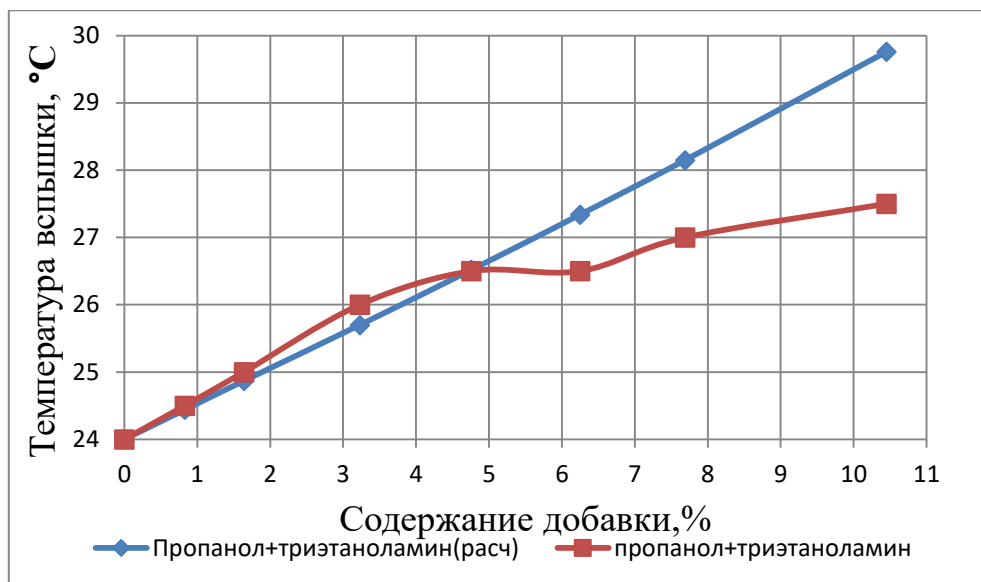


Рис. 2.13. Влияние содержания добавок триэтаноламина на температуру вспышки пропанола

Таблица 2.10

Расчётные и экспериментальные значения температур вспышки смеси
бутанола с триэтаноламином

бутанол + триэтаноламин			
Объем добавки, мл	Содержание добавки, %	Расчётные значения температуры вспышки смеси, °C	Экспериментальные значения температуры вспышки, °C
0	0	37,00	37,00
0,5	0,83	37,4	38,00
1,0	1,64	37,79	38,50
2,0	3,23	38,56	39,00
3,0	4,76	39,31	39,00
4,0	6,25	40,06	39,50
5,0	7,69	40,8	39,50
7,0	10,45	42,28	40,00

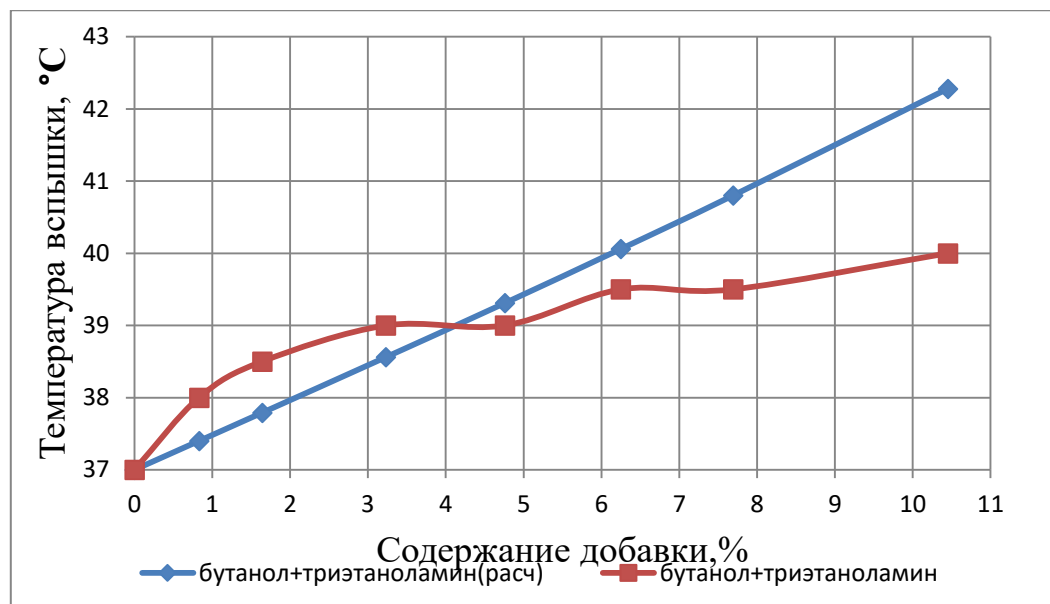


Рис. 2.14. Влияние содержания добавок триэтаноламина на температуру вспышки бутанола

Анализ полученных результатов показывает, что расчетные значения смешанного растворителя с добавками триэтаноламина выше экспериментальных, что свидетельствует о том, что межмолекулярные водородные связи не образуются в связи с малой полярностью молекулы триэтаноламина, а так же влияет стерический фактор (расположение молекул в пространстве и их геометрия). Молекула триэтаноламина является объёмной, поэтому образование даже слабых межмолекулярных связей является весьма затруднительным. Эффективность добавки триэтаноламина для пропанола составила 12,5 %, а для бутанола – 6,76 %, эффект за счёт образования межмолекулярных связей отсутствует.

2.8. Исследование влияния добавок 5 % раствора ПАВ на температуру вспышки *n*-пропилового и *n*-бутилового спиртов

В качестве добавки к пропанолу и бутанолу был исследован 5 % раствор ПАВ (додецил сульфат натрия), мицеллы которого, способны образовывать ассоциаты с молекулами растворителя. В качестве контроля использовали дистиллированную воду, добавки которой использовали в ходе исследований. Результаты лабораторных исследований и расчётов приведены в табл. 2.11, 2.12 и на рис 2.15, 2.16.

Таблица 2.11

Экспериментальные данные по определению температуры вспышки смеси пропанола с 5 %-ным раствором ПАВ и дистиллированной водой

Объем добавки, мл	Содержание добавки, %	Экспериментальные значения температуры вспышки, °С Пропанол + вода	Экспериментальные значения температуры вспышки, °С пропанол + 5 % р-р ПАВ
0	0	24,00	24,00
0,5	0,83	24,00	24,50
1,0	1,64	24,50	25,00
2,0	3,23	25,00	25,50
3,0	4,76	25,50	26,00
4,0	6,25	26,00	26,50
5,0	7,69	26,50	27,00
7,0	10,45	27,00	27,50

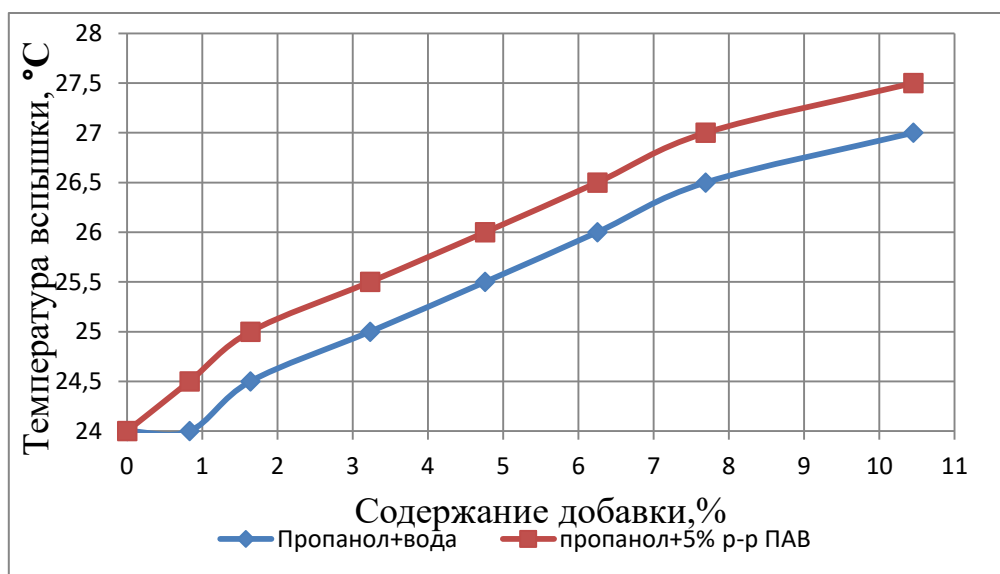


Рис. 2.15. Влияние содержания добавок 5 %-ного раствора ПАВ и дистиллированной воды на температуру вспышки пропанола

Таблица 2.12

Экспериментальные данные по определению температуры вспышки смеси бутанола с 5 %-ным раствором ПАВ и дистиллированной водой.

Объем добавки, мл	Содержание добавки, %	Экспериментальные значения температуры вспышки, °С бутанол + вода	Экспериментальные значения температуры вспышки, °С бутанол + 5 % р-р ПАВ
0	0	37,00	37,00
0,5	0,83	37,50	38,00
1,0	1,64	38,00	38,50
2,0	3,23	38,50	39,00
3,0	4,76	39,00	40,00
4,0	6,25	39,50	41,00
5,0	7,69	39,50	41,50
7,0	10,45	39,50	42,00

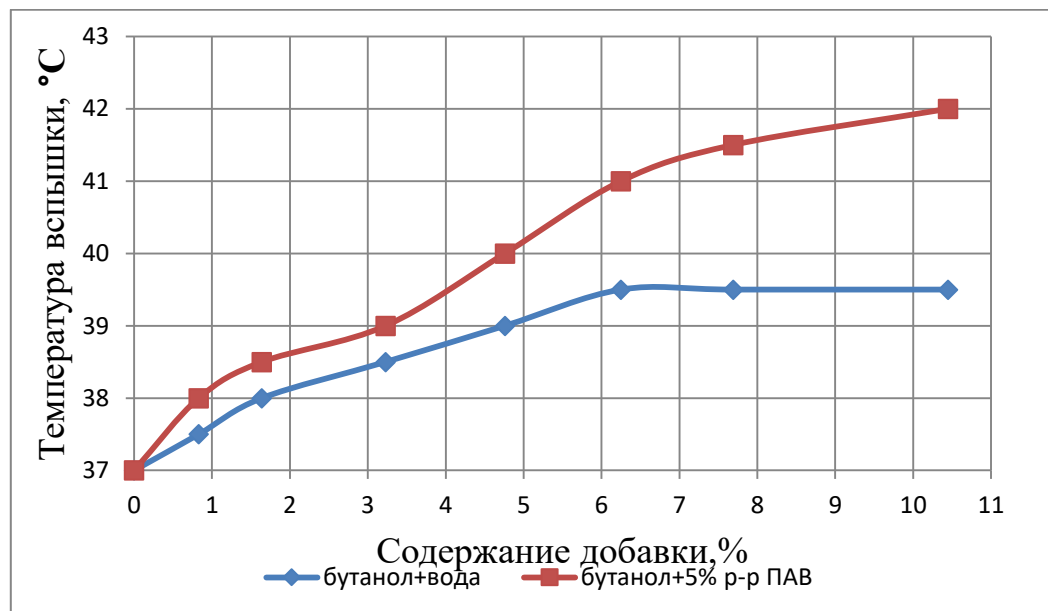


Рис. 2.16. Влияние содержания добавок 5 %-ного раствора ПАВ и дистиллированной воды на температуру вспышки пропанола

Анализ экспериментальных кривых позволяет сделать следующий вывод: введение добавок 5 %-ного раствора ПАВ (додецилсульфата натрия) практически не приводит к повышению температуры вспышки за счёт образования дополнительных межмолекулярных связей в опыте с пропанолом и не значительно повышает температуру вспышки бутанола. Эффект повышения температуры вспышки смешанного растворителя на основе бутанола с добавкой 5 %-ного раствора ПАВ (додецилсульфата натрия) за счет межмолекулярных водородных связей составил 5,4 %, что обусловлено плохим образованием ассоциатов из мицелл ПАВ и полярной молекулой бутанола. При взаимодействии с пропанолом эффект повышения температуры вспышки за счет образования дополнительных межмолекулярных водородных связей оказался не значительным и составил 2,08 %.

2.9. Исследование влияния добавок огнезащитного состава «терминус-13» на температуру вспышки *n*-пропилового и *n*-бутилового спиртов

В огнезащитный состав «терминуса-13» входят органические антипирены, которые способны предохранять полимеры и другие материалы органического происхождения от воспламенения и самостоятельного горения.

Исследования влияния добавок огнезащитного состава «терминус-13» на температуру вспышки данных веществ показали, что растворение его происходит только в 1-бутаноле. При исследовании влияния добавок огнезащитного состава «терминус-13» на температуру вспышки пропанола выпадал осадок, что приводило к нецелесообразности проведения дальнейших исследований.

Объём добавок составил: 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 7 мл. Исходный объём 1-бутанола 60 мл. Результаты испытаний представлены в табл. 2.13 и на рис. 2.17.

Таблица 2.13

Экспериментальные значения температур вспышки смеси бутанола с
огнезащитным составом «терминус-13»

Объем добавки, мл	Содержание добавки, %	Экспериментальные значения температуры вспышки, °С
0	0	37
0,5	0,83	37,5
1,0	1,64	38
2,0	3,23	39
3,0	4,76	40
4,0	6,25	40,5
5,0	7,69	41
7,0	10,45	42

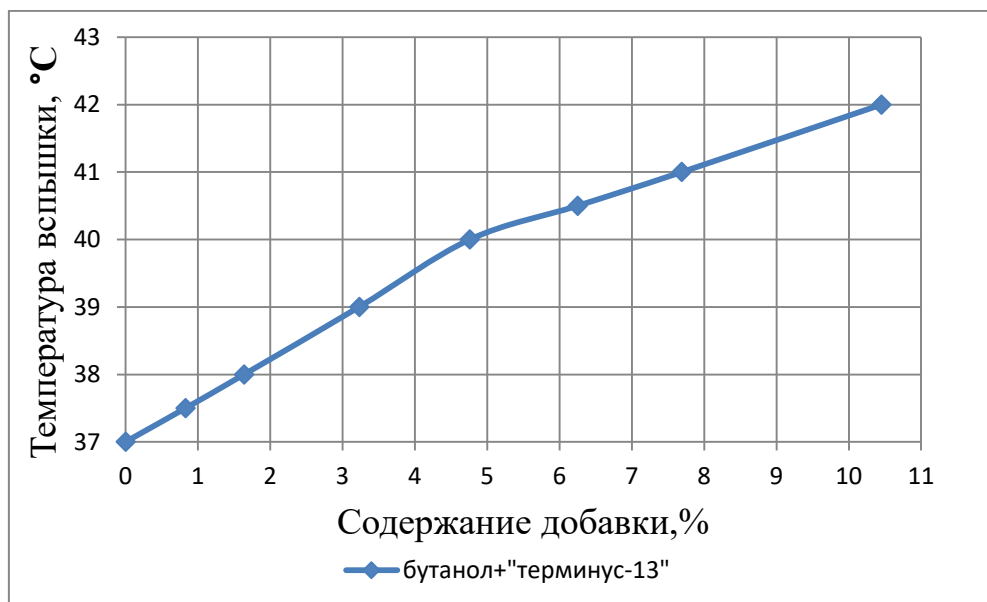


Рис. 2.17. Влияние содержания добавок огнезащитного состава
«терминус-13» на температуру вспышки бутанола

Эффект повышения температуры вспышки при содержании добавки равной 8%, составил 10,81%, что можно объяснить образованием пленки на поверхности растворителя препятствующей испарению молекул бутанола, и как следствие, повышению температуры вспышки. Для установления

точной причины данного эффекта необходимы дополнительные исследования.

2.10. Сравнение эффективности добавок органических веществ, используемых в качестве добавок к *n*-пропиловому и *n*-бутиловому спиртам с целью повышения температуры вспышки

Экспериментальные зависимости температуры вспышки пропанола и бутанола от концентрации вводимых добавок уксусной кислоты, гептилового спирта, нитробензола, триэтаноламина, 5% р-р ПАВ представлены на рис. 2.18, 2.19.

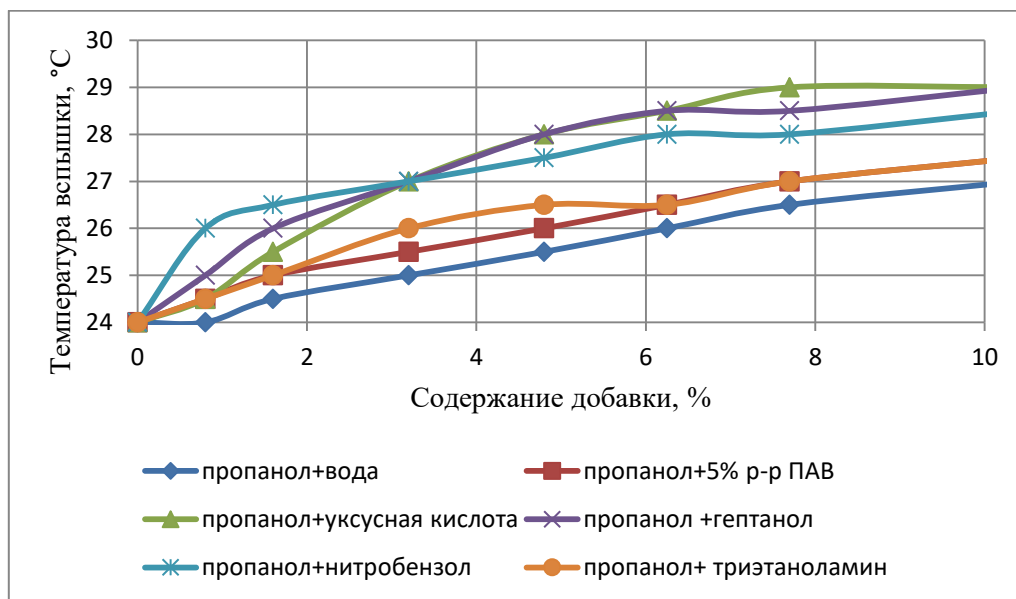


Рис. 2.18. Влияние добавок полярных органических жидкостей на температуру вспышки пропанола

Анализ полученных зависимостей показал, что наиболее эффективно повышают температуру вспышки пропилового спирта добавка уксусной кислоты. Уксусная кислота и гептанол примерно близки по эффективности

при введении 6% добавки, но при введении 8% добавки эффект повышения температуры вспышки продолжает наблюдаться только у уксусной кислоты. Эффект повышения температуры вспышки смешанного растворителя на основе пропанола с 5 %-ным раствором ПАВ вызван в основном, разбавлением водой.

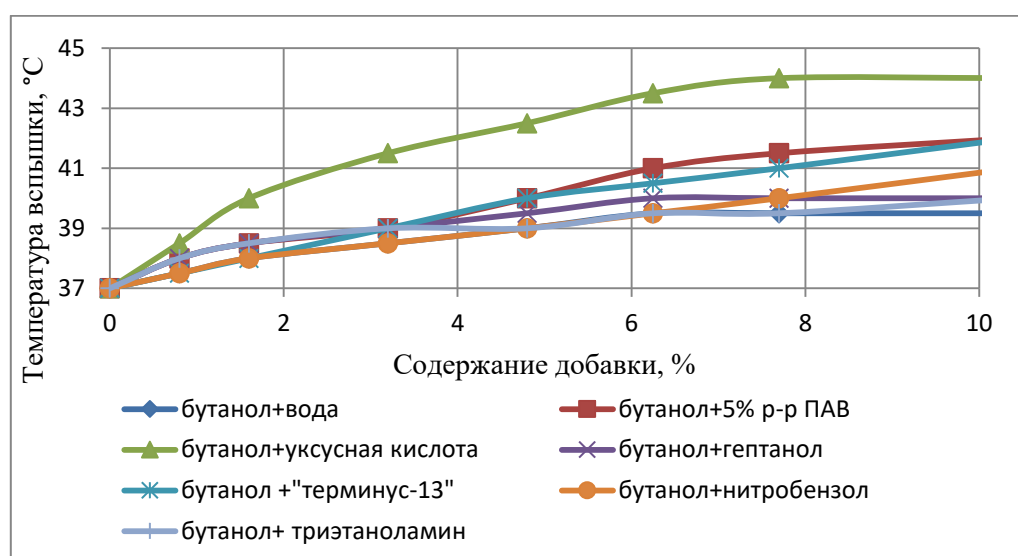


Рис. 2.19. Влияние добавок полярных органических жидкостей на температуру вспышки бутанола

Результаты исследований показали, что наиболее эффективно использовать в качестве добавки к 1-бутанолу — уксусную кислоту, т.к. молекулы карбоновых кислот, как было описано в главе № 1, обладают высоким дипольным моментом и как следствие более склонны к образованию межмолекулярных водородных связей.

Эффективность добавок полярных органических соединений представлена в табл. 2.14.

Таблица 2.14

Эффективность добавок полярных органических соединений
к пропанолу и бутанолу (содержание добавки 8 %)

	Наименование добавки
--	----------------------

Растворители	Уксусная кислота	Гептанол	Нитробензол	Триэтаноламин	5 % р-р ПАВ	«терминус-13»
бутанол	18,92	8,11	9,46	6,76	12,16	6,76
пропанол	20,83	18,75	16,67	12,5	12,5	-

Если сравнивать эффект повышения температуры вспышки у пропанола и бутанола, то у пропанола он выражен в большей степени. Это можно объяснить тем, что дипольный момент пропанола несколько выше чем у бутанола (1,68 Дб и 1,66 Дб, соответственно), что свидетельствует о большей полярности молекул пропанола. Гептанол и нитробензол можно рекомендовать в качестве добавок к пропиловому спирту с целью снижения его пожарной опасности на 18,75 % и 16,67 % соответственно.

Если сравнивать эффект повышения температуры вспышки за счёт образования межмолекулярных связей, то он в наибольшей степени выражен при введении добавок уксусной кислоты, так как карбоновые кислоты отличаются высоким дипольным моментом, т.е. являются полярными жидкостями склонными образовывать межмолекулярные водородные связи.

Полученные результаты удовлетворительно согласуются с прогнозными расчётами, полученными в работах [27-33].

2.11. Выводы

В результате проведённых исследований влияния различных добавок на температуру вспышки смешанных растворителей можно сформулировать следующее:

1. Наибольший эффект повышения температуры вспышки смешанных растворителей на основе пропилового и бутилового спиртов выражен при введении добавок уксусной кислоты, так как карбоновые кислоты отличаются высоким дипольным моментом, т.е. являются полярными

жидкостями склонными образовывать межмолекулярные водородные связи. В связи с этим, уксусную кислоту можно рекомендовать для использования в качестве добавки к бутиловому и пропиловому спиртам с целью снижения их пожарной опасности (на 20,83 % и 18,92 %, соответственно);

2. Оптимальное содержание добавки уксусной кислоты составило 8 %. При дальнейшем повышении содержания добавки температура вспышки смешанных растворителей растёт за счёт разбавления;
3. В случае с пропанолом высокий эффект повышения температуры вспышки достигается ещё при введении гептанола и нитробензола (18,75 % и 16,67 %, соответственно). Оптимальное содержание добавки гептанола и нитробензола составило 6%.
4. Эффект повышения температуры вспышки смешанных растворителей при добавках органических полярных жидкостей в большей степени выражен у пропанола, особенно с добавками нитробензола и гептанола. Это можно объяснить тем, что дипольный момент пропанола несколько выше чем у бутанола (1,68 Дб и 1,66 Дб, соответственно), что свидетельствует о большей полярности молекул пропанола и большей склонности их к образованию межмолекулярных водородных связей.

3. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

3.1. Расчёт стоимости смешанных растворителей с различными добавками на основе *n*-пропилового и *n*-бутилового спиртов

Пожары являются одним из самых непредвиденных факторов, которые наносят огромный ущерб гражданам и как следствие государству. Так на сайте МЧС России приведена статистика пожаров по России за 2013 год, где число возникновения пожаров составило 153208, прямой материальный ущерб от

них составил 13 732 395 тыс. руб. эти статистические данные показывают, что пожары напрямую влияют на экономику государства. Уменьшение числа возникновения пожаров на предприятиях, использующих в своем технологическом процессе растворители, представляется возможным при добавлении в растворитель специальных добавок, снижающих основные пожароопасные показатели. В связи с этим в работе исследовано влияние добавок органических веществ, способных образовывать дополнительные межмолекулярные водородные связи, способствующие повышению температуры вспышки. В результате экспериментальных исследований выделены органические вещества, приводящие к эффективному повышению температуры вспышки пропилового и бутилового спиртов.

Рассчитаем экономический эффект предлагаемых смешанных растворителей на основе бутанола и пропанола. Стоимость бутилового спирта составляет 79 руб/кг. Бутиловый спирт хранится в бочках ёмкостью 200 литров (0,2. м³). Стоимость тары, в которой хранится растворитель, составляет 1000 рублей.

Стоимость 1 кг: уксусной кислоты - 65 руб., гептилового спирта – 72 руб., нитробензола – 1260 руб., триэтаноламина – 70 руб.,

ПАВ(додецил сульфат натрия) – 200 руб, но так как мы используем 5% раствор , то цена раствора составит 10 руб.,

Огнезащитный состав «терминус-13» - 135 руб.

Стоимость смешанного растворителя будет составлять:

$$Z = A - 0,08 \cdot A + 0,08 \cdot B, \quad (4)$$

где A – стоимость растворителя,

B – стоимость добавляемой жидкости;

Z – конечная стоимость.

Стоимость 1 тонны растворителя на основе бутилового спирта с 8 % содержанием уксусной кислоты составит:

$$Z = 79000 - 6320 + 5200 = 77880 \text{ руб./т.}$$

Экономический эффект составит – 1120 руб/т

Стоимость 1 тонны растворителя на основе бутилового спирта с 8 % содержанием гептилового спирта составит:

$$Z = 79000 - 6320 + 5760 = 78440 \text{ руб/т}$$

Экономический эффект составит – 560 руб/т

Стоимость 1 тонны растворителя на основе бутилового спирта с 8 % содержанием нитробензола составит:

$$Z = 79000 - 6320 + 100800 = 173480 \text{ руб/т}$$

Экономический эффект составит – - 94480 руб/т

Стоимость 1 тонны растворителя на основе бутилового спирта с 8 % содержанием триэтаноламина составит:

$$Z = 79000 - 6320 + 5600 = 78280 \text{ руб/т}$$

Экономический эффект составит – 720 руб/т

Стоимость 1 тонны растворителя на основе бутилового спирта с 8 % содержанием 5 % раствора ПАВ составит:

$$Z = 79000 - 6320 + 800 = 73480 \text{ руб/т}$$

Экономический эффект составит – 5520 руб/т.

Стоимость 1 тонны растворителя на основе бутилового спирта с 8 % содержанием огнезащитного состава «терминус-13» составит:

$$Z = 79000 - 6320 + 10800 = 83480 \text{ руб/т}$$

Экономический эффект составит – - 4480 руб/т

Стоимость смешанного растворителя на основе пропилового спирта будет составлять:

С добавкой уксусной кислоты:

$$Z = 150000 - 12000 + 5200 = 143200 \text{ руб/т.}$$

Экономический эффект составит - 6800 руб/т.

С добавкой гептилового спирта

$$Z = 150000 - 12000 + 5760 = 143760 \text{ руб/т.}$$

Экономический эффект составит – 6240 руб/т.

С добавкой нитробензола

$$Z=150000 - 12000 + 100800 = 238800 \text{ руб/т.}$$

Экономический эффект составит – - 88800 руб/т.

С добавкой триэтаноламина

$$Z=150000 - 12000 + 5600 = 143600 \text{ руб/т.}$$

Экономический эффект составит – 6400 руб/т.

С добавкой 5 % раствора ПАВ:

$$Z=150000-12000+800=138800 \text{ руб/т.}$$

Экономический эффект составит – 11200 руб/т.

Полученные данные по стоимости смешанных растворителей представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Стоимость смешанных растворителей

Название добавляемого вещества	Стоимость добавляемого вещества, руб./т	Стоимость смешанного растворителя, руб./т	
		бутанол + добавка	пропанол + добавка
Уксусная кислота	65.000	77880	143200
Гептиловый спирт	72.000	78440	143760
Нитробензол	1.260.000	173480	238800
Триэтаноламин	70.000	78280	143600
ПАВ	10.000	73480	138800
«терминус-13»	135.000	83480	-

Как видно из полученных расчетов наиболее дорогим является смешанный растворитель на основе пропанола с добавкой нитробензола превосходя изначальную стоимость 1,4 раза, что экономически не оправдано, так как нитробензол не оказывает сильного влияния на температуру вспышки.

Наилучшей добавкой к растворителю является уксусная кислота, которая имеет низкую стоимость и высокий коэффициент повышения температуры вспышки, т.е. является менее пожароопасным и наиболее выгодным решением. Экономический эффект (руб./т) от введения добавок и использования смешанных растворителей представлен в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Экономический эффект (руб./т) при добавках полярных жидкостей

Название добавляемого вещества	Экономический эффект (руб/т) смешанных растворителей на основе	
	бутанола	пропанола
1	2	3
Уксусная кислота	1120	6800
Гептанол	560	6240
1	2	3
Нитробензол	-94480	-88800
Триэтаноламин	720	6400
5 % раствор ПАВ	5520	11200
«терминус-13»	-4480	-

Так как оптимальная добавка гептанола к растворителю на основе пропанола составила 6%, его экономический эффект ниже, чем при 8% и составил 420 руб/т.

Расчёты показали, что не все добавки экономически выгодны, однако необходимо учитывать, что происходит снижение пожарной опасности. Использование добавок данных веществ в составе растворителей позволит снизить вероятность возникновения возгорания или взрыва и сохранить готовую продукцию от уничтожения, а также производственные коммуникации и помещения склада.

3.2. Расчёт экономического ущерба в случае возникновения пожара

Рассчитаем ущерб от пожара в случае его возникновения на складе для хранения бутилового спирта фирмы «Химические товары».

Растворители хранятся чаще всего в бочках объёмом 200 л. При этом масса (m) растворителя в одной 200 литровой бочке составит:

$$m = \rho \cdot V = 805,5 \cdot 0,2 = 161,1 \text{ кг} \quad (5)$$

где ρ – плотность вещества

V – объём бочки

Вместимость склада фирмы «Химические товары» составляет 60 тонн готовой продукции, тогда количество бочек с растворителем (K), хранящихся на складе составит:

$$K = m_{\text{общ}} / m_{\text{бочки}} = 60.000 / 161,1 = 372,44 \sim 373 \text{ шт.} \quad (6)$$

где $m_{\text{общ}}$ - общая масса продукта хранящаяся на складе

$m_{\text{бочки}}$ - масса одной бочки

Ущерб от пожара (Y) в случае его возникновения рассчитываем по формуле:

$$Y = m_{\text{общ}} \cdot Z_{\text{кон.прод}} + 373 \cdot Z_{\text{боч}} = 60000 \cdot 79 + 373 \cdot 1000 = 4\,740\,000 + 373\,000 = 5\,113\,000 \text{ руб.} \quad (7)$$

где Y – ущерб от пожара, руб.;

$m_{\text{общ}}$ – общее количество растворителя на складе, кг;

$Z_{\text{кон.прод}}$ – стоимость 1 кг растворителя, руб./кг;

$Z_{\text{боч}}$ – стоимость одной бочки объёмом 200 литров, руб.

Данных потерь можно избежать введением в состав растворителя предлагаемой добавки, эффективную, но более дешёвую уксусную кислоту.

3.3. Выводы

Результаты расчётов показывают, что добавление полярных жидкостей в растворители (бутанол и пропанол) с целью снижения их температуры вспышки является, в основном, экономически выгодным и оправданным.

Ущерб от пожара при аварийной ситуации (сгорании 60 тонн 1-бутанола) будет составлять 5 113 000 рублей. Так как пожарная опасность разработанных смесевых растворителей ниже (температура вспышки выше), вероятность возникновения аварии на производствах, использующих растворители, уменьшается.

Таким образом, разработанные смешанные растворители на основе 1-бутанола, являются эффективными как с позиции экономического эффекта, так и с позиции пожарной безопасности. Наиболее экономически выгодным является смешанный растворитель на основе 1-пропанола и 1-бутанола с добавкой 5%-го раствора ПАВ (экономический эффект 11200 руб./т и 5520 руб./т, соответственно), но данная добавка не является выгодной с точки зрения пожарной безопасности. Поэтому наиболее эффективно будет применить уксусную кислоту со смешанным растворителем на основе 1-пропанола и 1-бутанола, с точки зрения и пожарной безопасности, и небольшого экономического эффекта (экономический эффект 6800 руб./т и 1120 руб./т, соответственно).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дипломной работе решена актуальная задача по снижению пожарной опасности растворителей (пропанола и бутанола) за счёт введения добавок органических веществ (уксусной кислоты, гептанола, нитробензола, триэтаноламина, додецилсульфата натрия), способных образовывать дополнительные межмолекулярные связи с молекулами пропанола и бутанола, приводящие к повышению температуры вспышки. Решение этой задачи стало возможным в результате проведения большого количества экспериментальных исследований, а также анализа литературных и справочных данных по выявлению влияния полярности молекул и их способности образовывать межмолекулярные водородные связи на физико-химические характеристики и показатели пожарной опасности жидкостей, применяемых в различных технологических процессах в качестве растворителей.

Основные результаты теоретических и экспериментальных изысканий заключаются в следующем:

1. В результате исследования химического состава и строения органических веществ, установлено, что межмолекулярные водородные связи, образующиеся между молекулами полярных жидкостей, способны повышать температуру их вспышки, тем самым, понижать их пожарную опасность. Определены классы органических соединений, молекулы которых наиболее склонны к образованию межмолекулярных водородных связей с молекулами растворителей и приводящие к повышению температуры вспышки последних. Установлено, что температура вспышки увеличивается при увеличении атомов углерода в цепи, а также в следующей последовательности классов органических соединений: *предельные углеводороды < кетоны < альдегиды < спирты < карбоновые кислоты.*

2. Получены зависимости влияния добавок уксусной кислоты, 5 % раствора ПАВ (додецилсульфата натрия), гептанола, нитробензола, триэтаноламина и огнезащитного состава «терминус-13» на температуру вспышки полученных смешанных растворителей на основе пропанола и бутанола.
3. Наиболее эффективно повышает температуру вспышки пропанола и бутанола уксусная кислота при введении 8% добавки на 20,83% и 18,92% соответственно, так как карбоновые кислоты наиболее склонны к межмолекулярным водородным связям, а также из-за высокого значения температуры её вспышки.
4. Установлено, что оптимальное содержание добавки уксусной кислоты к пропанолу и бутанолу составляет 8 %.
5. Эффективность повышения температуры вспышки полученная при добавлении к пропиловому спирту гептанола, составила 18,75%, т.е. его можно рекомендовать в качестве добавки к пропиловому спирту. Оптимальное содержание добавки гептилового спирта в отличии от уксусной кислоты составило 6%.
6. Экономические расчёты и анализ экологической безопасности показали, что нитробензол нецелесообразно использовать в качестве добавки с целью снижения пожарной опасности, так как смешанный растворитель будет более дорогим и опасным для здоровья человека.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зефилов Н.С. и др. Химическая энциклопедия: в 5 т. Т. 4. М.: Большая Российская энцикл., 1995, – 467 с.
2. Райхардт Х., Растворители в органической химии, пер. с нем., Л., 1973.
3. Дринберг С. А., Ицко Э.Ф., Растворители для лакокрасочных материалов, 2 изд., Л., 1986, – 168 с.
4. ГОСТ 12.1.044-89 «Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов» М.: Изд-во стандартов. 1990. 44 с.
5. Алексеев С.Г., Смирнов В.В., Барбин Н.М., Температура вспышки. Часть 1. История вопроса, дефиниции, методы экспериментального определения. // Пожаровзрывоопасность Т. 21, № 5, 2012. – С. 35-42.
6. Алексеев К.С., Алексеев С.Г., Барбин Н.М., Орлов С.А. Прогнозирование показателей пожарной опасности в ряду изомерных одноатомных спиртов // Актуальные проблемы обеспечения безопасности в Российской Федерации. IV Всероссийская научно-практическая конференция (15 апреля 2010года), посвященная 20-летию образования МЧС России Ч.1, 2010. – С 5-7.
7. Алексеев С.Г., Барбин Н.М., Алексеев К.С., Орлов С.А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. I. Алканолаы // Пожаровзрывоопасность. Т. 19, № 5, 2010. – С. 23-30.
8. Алексеев С.Г., Барбин Н.М., Алексеев К.С., Орлов С.А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. II Кетоны (Часть 1) // Пожаровзрывоопасность Т. 20, № 6, 2011. – С. 8-15.
9. Алексеев С.Г., Барбин Н.М., Алексеев К.С., Орлов С.А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. III Кетоны (Часть 2) // Пожаровзрывоопасность Т. 20, № 7, 2011. – С. 8-13.
10. Алексеев С.Г., Барбин Н.М., Алексеев К.С., Орлов С.А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. IV. Простые эфиры // Пожаровзрывоопасность Т. 20, № 9, 2011. – С. 9-16.

11. Алексеев С.Г., Барбин Н.М., Алексеев К.С. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. V. Карбоновые кислоты // Пожаровзрывоопасность Т. 21, № 7, 2012. – С. 35-46
12. Алексеев С.Г., Барбин Н.М., Алексеев К.С. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. VI. Альдегиды // Пожаровзрывоопасность Т. 21, № 9, 2012. – С. 29-37.
13. Алексеев С.Г., Барбин Н.М., Смирнов В.В. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. VII. Нитроалканы // Пожаровзрывоопасность Т. 21, № 12, 2012. – С. 22-24.
14. Алексеев С.Г., Алексеев К.С., Барбин Н.М. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. VIII. Сложные эфиры (часть 1) // Пожаровзрывоопасность Т. 22, № 1, 2013. – С. 31-57.
15. Смирнов В.В., Алексеев С.Г., Барбин Н.М. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. IX. Хлоралканы // Пожаровзрывоопасность Т. 21, № 12, 2012. – С. 22-24
16. Батов Д.В., Мочалова Т.А., Петров А.В. Описание и прогнозирование температур вспышки сложных эфиров, в рамках аддитивно-группового метода // Пожаровзрывобезопасность Т. 19, № 2, 2010. - С 15-18.
17. Рудаков Л.В., Калач А.В., Бердникова Н.В. Пожарная опасность водорастворимых растворителей и их водных растворов // Пожаровзрывоопасность Т. 20, № 1, 2011. – С. 31-32.
18. Рудаков О.Б., Черепяхин А.М., Исаев А.А., Рудакова Л.В., Калач А.В. Температура вспышки бинарных растворителей для жидкостной хроматографии // Конденсированные среды и межфазные границы, Т. 13, № 2, 2011. – С. 191-195.
19. Уразаев В.И. Растворители // Технологии в электронной промышленности, №2, 2006. – С. 14-19.
20. Беззапонная О.В. Влияние образования межмолекулярных водородных связей в бинарных растворителях на температуру их воспламенения // Техносферная безопасность №1 (2), 2014. – С. 2-6

21. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справ. изд.: в 2 книгах/ А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчук и др. – М., Химия, 1990. – кн. 1 – 496 с., кн. 2 – 384 с.
22. Корольченко А.Я., Корольченко Д.А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник: в 2-х ч. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Асс. «Пожнаука», 2004. – ч. 1 – 713 с.; ч. 2 – 774 с.
23. Бердоносоев С.С. Химия 8. М.: МИРОС, 1994, 158 с.
24. Беззапонная О.В. Влияние состава смесового растворителя на температуру его воспламенения // Безопасность критических инфраструктур и территорий: Материалы V Всероссийской научно-технической конференции и XV школы молодых учёных. Екатеринбург: УрО РАН, Изд-во АМБ, 2012 – С. 91-93.
25. Браун Т., Лемей Г.Ю. Химия в центре наук. М.: Мир, 1983, т. 1, 447 с.
26. Монахов В.Т. Показатели пожарной опасности веществ. Анализ и предсказание. М., Химия, 2009. – 416 с.
27. ГОСТ 12.1.007-76. ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности
28. Liu, G., Wang, L., Qu, H., Shen, H., Zhang, X., Zhang, S., Mi, Z. Artificial Neural Network Approaches on Composition-Property Relationships of jet Fuels based on GC-MS. *Fuel*. 2007. Vol. 86. No. 16. P. 2551-2559. DOI: 10.1016/j.fuel.2007.02.023.
29. Agarwal, M., Singh, K., Chaurasia, S.P. Prediction of Biodisel Properties from Fatty Acid Composition using Linear Regression and ANN Techniques. *Indian Chemical Engineer*. 2010. Vol. 52. No. 4. P. 347-361. DOI: 10.1080/00194506.2010.616325.
30. Kontogeorgis, G. M., Folas, G. K. Thermodynamic Models for Industrial Applications: From Classical and Advanced Mixing Rules to Association Theories, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester. UK. 2010. 692 p. DOI: 10.1002/9780470747537.ch5

31. Affens, W. A., McLaren, G. W. Flammability Properties of Hydrocarbon Solutions in Air. *Journal of Chemical and Engineering Data*. 1972. Vol. 17. No. 4. P. 482-488. DOI: 10.1021/je60055a040.
32. Gmehling, J., Rasmussen, P. Flash Points of Flammable Liquid Mixtures using UNIFAC. *Industrial and Engineering Chemistry Fundamentals*. 1982. Vol. 21. No. 2. P. 186-188. DOI: 10.1021/i100006a016.
33. Lee, S., Ha, D. M. The Lower Flash Points of Binary Systems Containing Non-Flammable Component. *Korean Journal of Chemical and Engineering*. 2003. No. 20. P. 799-802.

Показатели взрывоопасной и пожарной опасности растворителей

Растворитель	Температура вспышки в закрытом тигле, °C	Температура вспышки в открытом тигле, °C	Температура воспламенения, °C	Температура самовоспламенения, °C	Температурные пределы воспламенения, °C	
					нижний	верхний
1,3-Диоксан	5	-	-	-	-	-
1,4-Диоксан	11	18	18	375	7	58
1-Нитропропан	35	50	50	420	34	-
2-Нитропропан	24	39	39	425	27	-
645	2	13	13	428	1	18
646	-1	6	6	428	-2	11
647	4	9	9	470	5	34
648	11	21	21	403	10	26
649	23	27	29	372	21	38
651	29	-	-	247	27	50
N,N-Диметилформамид	53	56	56	440	51	94
Амилацетат	43	50	50	290	35	80
Амиловый спирт	48	49	57	300	45	79
Ацетон	-20	-9	-5	535	-20	6
Ацетат этилового эфира диэтиленгликоля	-	110	-	360	-	-
Бензиловый спирт	90	104	110	400	87	145
Бензин БР-1	-17	-	-	350	-17	10
Бутилакрилат	38	41	51	275	37	81
Бутилацетат	29	35	35	330	22	61
Бутиловый спирт	34	41	43	340	34	67
Бутиловый эфир этиленгликоля	16	35	-	208	-	-
Бутиловый эфир диэтиленгликоля	100	116	-	228	-	-
Бутилдигликоль (1,4-бутиленгликоль)	121	124	132	375	93	-
втор-Изоамиловый	32	38	38	347	30	62

Растворитель	Температура вспышки в закрытом тигле, °С	Температура вспышки в открытом тигле, °С	Температура воспламенения, °С	Температура самовоспламенения, °С	Температурные пределы воспламенения, °С	
					нижний	верхний
спирт (3-метилбутанол-2)						
Гексаметилендиамин	-	73	85	280	60	94
Гексаметилендиизоцианат	-	129	143	402	106	132
Гексан	-23	-	-	234	-26	4
Гексилацетат	57	65	65	255	51	92
Гексиловый спирт	60	65	70	285	57	92
Гептан	-4	-4	-4	220	-7	26
Гидропероксид изопропилбензола	60	87	87	220	60	120
Декан	47	53	66	205	46	87
Дибетиловый эфир	25	-	-	160	18	73
Дибutilфталат	164	166	167	390	119	200
Дикрезол	75	-	-	595	48	83
Диэтиламин	-26	-15	-	310	-26	8
Диэтиленгликоль	124	143	-	345	118	170
Диэтилкетон	7	13	-	417	-	-
Диэтиловый эфир	-41	-	-	180	-44	16
Изоамилацетат	36	45	45	360	34	76
Изоамиловый спирт (3-метилбутанол-1)	43	52	52	300	42	77
Изобутилацетат	22	29	29	420	17	56
Изобутиловый спирт	28	39	39	390	26	50
Изогептан	-8	-	-	287	-13	18
Изооктан	10	16	16	238	-	-
Изопентан	- 52	-	-	432	- 56	- 30
Изопропиловый спирт	12	18	23	430	11	42
Керосин осветительный	53	57	63	238	35	75

Растворитель	Температура вспышки в закрытом тигле, °С	Температура вспышки в открытом тигле, °С	Температура воспламенения, °С	Температура самовоспламенения, °С	Температурные пределы воспламенения, °С	
					нижний	верхний
Ксилол (смесь изомеров)	29	-	-	590	24	50
Лигроин	10	-	-	380	2	34
Метилацетат	- 15	-10	-	470	- 16	11
Метилизобутил кетон	17	24	-	459	14	48
Метилкарбитол	88	96	-	215	-	-
Метилметакрилат	8	10	20	440	8	44
Метиловый спирт	6	12	13	440	5	39
Метилцеллозоль	36	46	-	285	35	78
Метилэтилкетон	- 6	-1	-	514	-11	20
м-Ксилол	28	44	44	530	26	60
Морфолин	25	38	-	230	25	95
Нефрас-А-120/200	-	25	-	553	-	-
Нефрас-С-150/200	31	-	-	270	-	-
Нитрометан	35	44	-	418	33	-
Нитроэтан	30	-	-	410	29	-
Нонан	31	38	38	205	31	68
Октан	14	22	22	215	13	49
Петролейный эфир	- 58...-18	-	-	280...320	-	-
Пинен	30	37	-	229	-	-
п-Ксилол	26	39	-	529	24	58
Пропиловый спирт	23	29	30	371	21	55
Р-12	9	-	-	550	5	36
Р-189	-	1	2	418	7	29
Р-4	-7	-	-	550	-9	19
Р-40	-7	-	-	415	-7	17
Р-5	-9	-	-	497	-	-
РКБ-1	25	-	-	376	22	48
РКБ-2	34	-	-	346	30	55
РЛ-278	-	5	7	391	-	-
РС-2	28	51	51	258	24	59
РЭ-1	14	-	-	455	9	39
Скипидар	34	-	-	300	32	53

Растворитель	Температура вспышки в закрытом тигле, °С	Температура вспышки в открытом тигле, °С	Температура воспламенения, °С	Температура самовоспламенения, °С	Температурные пределы воспламенения, °С	
					нижний	верхний
Сольвент каменноугольный	36	36	42	540	29	61
Сольвент нефтяной	21	74	83	500	21	56
Стирол	30	37	-	470	27	67
Тетрагидрофуран	- 20	-	-	240	- 20	10
Тетралин	68	-	-	390	68	96
Толуол	4	5	-	536	1	30
Трикрезил каменноугольный	75	-	-	595	-	-
Трикрезилфосфат	228	-	-	369	-	-
Трикрезол каменноугольный	-	88	98	-	-	-
Триэтиламин	- 12	-7	-	310	-12	14
Тяжелый растворитель	25	-	-	500	-	-
Уайт-спирит	33	43	47	250	31	73
Формальгликоль	-5	1	1	223	- 5	33
Фурфуриловый спирт	74	75	-	370	74	117
Фурфурол	59	67	-	315	60	72
Циклогексан	- 18	-	-	260	- 18	20
Циклогексано́л	61	-	-	300	58	99
Циклогексанон	40	44	-	420	40	81
Эпихлоргидрин	26	32	35	385	26	65
Этилацетат	-4	-2	6	446	-4	28
Этилглицоляцетат	47	57	57	379	42	80
Этиленгликоль	111	115	-	420	112	124
Этиловый спирт	13	16	18	400	11	41
Этилцеллозольв	40	52	52	235	39	81

