

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт физики высоких технологий
Направление подготовки 18.04.01 «Химическая технология»
Кафедра общей химии и химической технологии

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
«Получение сорбента из оксигидроксида железа методом экструзии»

УДК 661.183:678.027.3:628.38

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ4В	Олчонова Сынару Юрьевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Семакина О.К	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Криницына З.В.	к.т.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Назаренко О.Б.	д.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОХХТ	Тихонов В.В.	к.т.н.		

Томск – 2016 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Запланированные результаты обучения по программе
18.04.01 «Химическая технология»

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять <i>глубокие</i> естественно-научные, математические и инженерные <i>знания</i> для создания <i>новых</i> материалов	Требования ФГОС (ПК-2, 10, 12, 22, 23), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Применять <i>глубокие знания</i> в области современных технологий химического производства для решения <i>междисциплинарных</i> инженерных задач	Требования ФГОС (ПК-2, 4-7, ОК-4), Критерий 5 АИОР (пп. 1.1, 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Ставить и решать <i>инновационные</i> задачи <i>инженерного анализа</i> , связанные с созданием материалов и изделий, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов химической технологии	Требования ФГОС (ПК-2, 17, 20), Критерий 5 АИОР (пп. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Разрабатывать химико-технологические процессы, <i>проектировать</i> и использовать <i>новое</i> оборудование для создания материалов, конкурентоспособных на <i>мировом</i> рынке	Требования ФГОС (ПК-1, 17-21), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Проводить теоретические и экспериментальные <i>исследования</i> в области создания <i>новых</i> материалов, современных химических технологий, нанотехнологий	Требования ФГОС (ПК-14-16, ОК-2-6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

P6	Внедрять, эксплуатировать современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС (ПК-1, 10), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Универсальные компетенции</i>		
P7	Использовать <i>глубокие знания по проектному менеджменту</i> для ведения <i>инновационной инженерной деятельности</i> с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС (ПК-3, 8, 13), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	<i>Активно владеть иностранным языком</i> на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности	Требования ФГОС (ПК-7, ОК-3), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве <i>члена и руководителя группы</i> , состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность <i>следовать корпоративной культуре</i> организации	Требования ФГОС (ПК-9, ОК-4, 5), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Демонстрировать <i>глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов</i> инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах <i>устойчивого развития</i>	Требования ФГОС (ПК-5, 6, 10), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	<i>Самостоятельно учиться</i> и непрерывно <i>повышать квалификацию</i> в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ПК-11, ОК-1, 2, 6), Критерий 5 АИОР (2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Взаимное соответствие целей ООП и результатов обучения и кредитная стоимость результатов обучения представлены в следующих таблицах.

Взаимное соответствие целей ООП и результатов обучения

Результаты обучения	Цели ООП				
	Ц1	Ц2	Ц3	Ц4	Ц5
P1	+	+	+	+	+
P2	+	+		+	
P3	+	+	+	+	+
P4				+	
P5			+		+
P6	+	+		+	
P7		+			
P8			+		+
P9		+			
P10		+	+		
P11			+	+	+

Кредитная стоимость результатов обучения

<i>Профессиональные компетенции выпускника – 100 кредитов ECTS</i>							<i>Универсальные компетенции выпускника – 20 кредитов ECTS</i>				
Кредиты	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
		19	20	9	19	21	12	2	4	6	4

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт физики высоких технологий
Направление подготовки 18.04.01 «Химическая технология»
Кафедра общей химии и химической технологии

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

_____ _____ Тихонов В.В.
(подпись) (дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ4В	Олчиновой Сынару Юрьевне

Тема работы:

Получение сорбента из оксигидроксида железа методом экструзии	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	От 22.01.2016 № 283/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Провести литературный обзор по тематике научно-исследовательской работы, а именно: проработать информацию о разновидностях промышленных сорбентов, о методах гранулирования; о способах очистки отработанных минеральных масел, рассмотреть возможность получения сорбента из окси-гидроксида железа методом экструзии, найти и изучить методики проведения экспериментов. В экспериментальной части проанализировать полученные результаты, сделать выводы.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Введение, литературный обзор, методики экспериментов, экспериментальная часть; обсуждение результатов, социальная ответственность, финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение, заключение.
Перечень графического материала	

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент,	Доцент кафедры МЕН, к.т.н., Криницына Зоя Васильевна

ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
Социальная ответственность	Профессор кафедры ЭБЖ, д.т.н., Назаренко Ольга Брониславовна
Раздел на иностранном языке	Доцент кафедры ИЯПР Сыскина Анна Александровна

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:
1.1 Вещества, используемые в качестве сорбентов 1.2 Промышленные сорбенты и их применение. 1.3 Химические, физические и механические свойства сорбентов. 1.4 Требования, предъявляемые к формуемой массе. 1.4.1 Содержание связующей жидкости.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ОХХТ	Семакина Ольга Константиновна	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ4В	Олчонова Сынару Юрьевна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ4В	Олчоной Сынару Юрьевне

Институт	ИФВТ	Кафедра	ОХХТ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Химическая технология неорганических веществ и материалов

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Себестоимость ресурсов научного исследования составила 368 рублей, амортизация специального оборудования 10678 рублей, итоговая плановая себестоимость НИ 344674 рублей.</i>
2. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений</i>	<i>Отчисления на социальные нужды 30% составили 77820 рублей.</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	<i>1.1. Потенциальные потребители результатов исследования 1.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения 1.3. SWOT-анализ 1.4. Оценка готовности проекта к коммерциализации 1.5. Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования</i>
2. <i>Инициация проекта</i>	<i>2.1. Цели и результат проекта 2.2. Организационная структура проекта</i>
3. <i>Планирование процесса управления научно-техническим проектом</i>	<i>3.1. План проекта 3.2. Бюджет научного исследования 3.3. Организационная структура проекта 3.4. Потенциальные риски</i>
4. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>4.1 Оценка сравнительной эффективности исследования</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Сегментирование рынка
2. Оценка конкурентоспособности технических решений
3. Матрица SWOT
4. График проведения и бюджет НТИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ
6. Потенциальные риски

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Креницына З.В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ4В	Олчонова С.Ю		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ4В	Олчиновой Сынару Юрьевне

Институт	ИФВТ	Кафедра	ОХХТ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Химическая технология неорганических веществ и материалов

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования	
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Профессиональная социальная безопасность	<p>1.1. Идентификация опасных и вредных факторов проектируемой производственной среды</p> <p>1.2. Метеоусловия</p> <p>1.3. Освещенность. Расчет освещения</p> <p>1.4. Шум</p> <p>1.5. Защита от опасных и вредных факторов</p>
2. Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению	<p>2.1. Электробезопасность</p> <p>2.2. Пожаровзрывобезопасность</p>
3. Экологическая безопасность:	– выполнить анализ воздействия объекта на окружающую среду;
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	<p>5.1. Специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</p> <p>5.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны..</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор каф. ЭБЖ	Назаренко Ольга Брониславовна	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ4В	Олчинова Сынару Юрьевна		

РЕФЕРАТ

Объектом исследования данной работы является осадок, образующийся после очистки артезианской воды от железа.

Цель работы - исследование возможности получения сорбента в виде гранул из отходов производства, который в дальнейшем можно использовать для очистки сточных вод от фенолов и нефтепродуктов, а также для регенерации отработанных минеральных масел.

Подобран оптимальный режим гранулирования сорбента с различными связующими жидкостями. Определены физико-механические свойства гранул, полученных методом экструзии.

Работа содержит 148 с., 48 рис., 67 табл.

Ключевые слова: осадок, сорбент, экструзия, прочность, объем пор.

SUMMARY

The objects of the study are the waste products - mineral sludge after purification of artesian water by aeration of iron.

The purpose of this study is to investigate the possibility of sorbent production in the pellets form from waste, which hereafter can be used for sewage treatment from phenols and petroleum products refining, and the waste mineral oils.

The physical and mechanical properties of the initial powder such as fractional composition, crushing strength under static conditions and the pore space of the resulting sorbent granules are investigated.

The paper contains 148 p., 48 fig., 67 tabl.

Keywords: mineral sludge, investigate, strength, pore volume.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
2. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций СО 153-34.21.122-2003.
3. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок; приказ Минтруда России от 24.07.2013 N 328н, зарегистрировано в Минюсте России 12.12.2013 N 30593
4. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
5. Федеральный закон Российской Федерации от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда»
6. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 13.07.2015) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"
7. Федеральный закон от 21.07.1997 N 116-ФЗ (ред. от 13.07.2015) "О промышленной безопасности опасных производственных объектов"
8. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки: санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562-96 утверждены Постановлением Госкомсанэпиднадзора России 31 октября 1996 г. № 36. Москва.

Сокращения

СЖ – связующая жидкость;

ПАА – полиакриламид;

КМЦ – карбоксиметилцеллюлоза;

МЦ – метилцеллюлоза;

ЖС – жидкое стекло.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	14
1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	16
1.1. Вещества, используемые в качестве сорбента	16
1.2 Промышленные сорбенты и их применение	21
1.3 Химические, физические и механические свойства	30
1.4 Требования, предъявляемые к формуемой массе	31
1.4.1 Содержание связующей жидкости	32
1.4.2 Размер частиц	33
1.4.3 Механическая прочность.....	33
1.4.4 Термостойкость	34
1.5 Свойства полученных гранул.....	35
1.5.1 Прочность катализаторов и сорбентов.....	35
1.5.2 Пористость сорбентов и катализаторов	36
1.5.3 Удельная поверхность	37
1.5.4 Сорбционная емкость (каталитическая активность)	37
1.5.5 Селективность сорбентов и катализаторов.....	38
1.6 Способы гранулирования сорбентов.....	38
1.6.1 Таблетирование	39
1.6.2 Гранулирование в жидких средах	41
1.6.3 Окапывание на тарельчатом грануляторе	42
1.6.4 Пластическое (экструзионное) формование	43
1.7 Сущность экструзионного способа	46
1.7.1 Аппаратурное оформление	46
1.8 Классификация методов очистки	48
1.9 Постановка задачи исследования	50
2 МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТОВ	51
2.1 Характеристика объектов исследования.....	51
2.2 Методика гранулирования методом экструзии.....	53
2.3 Методика определения суммарного объема пор по адсорбции паров бензола	53
2.4 Методика определения прочности гранул.....	53
3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	55
3.1 Гранулирование сорбента с карбоксиметилцеллюлозой	55
3.2 Гранулирование сорбента с глиоксалем	61
3.3 Получение гранул с использованием МЦ в качестве связующей жидкости	68

3.4 Получение гранул с использованием ПАА в качестве связующей жидкости	74
3.5 Получение гранул с использованием жидкого стекла в качестве связующей жидкости	79
4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ	88
5 РАЗДЕЛ «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	93
6 РАЗДЕЛ « СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	111
ВЫВОДЫ	127
СПИСОК НАУЧНЫХ ТРУДОВ	128
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	129
Приложение А	134

ВВЕДЕНИЕ

Высокоэффективная работа сорбентов и катализаторов в промышленности определяется не только от химико-физических свойств, применяемых контактов, но также она зависит от геометрической формы носителей. Это объясняется тем, что форма сорбентов и катализаторов существенно влияет на процессы тепло- и массообмена в слое, и на газодинамическое сопротивление. Выбор режима сорбционных и каталитических процессов позволяет увеличить экономичность производства не только за счет степени превращения (степени использования сырья), но и счёт снижения массы загружаемых контактов и понижения газодинамического сопротивления слоя. Таким образом, с лучшей стороны показали себя катализаторы и сорбенты непростой геометрической формы. На данный момент различают три главных способа формования: экструзионное (пластическое), полусухое (прессование, таблетирование) и мокрое (шликерное литьё)

Экструзионный метод отличается простотой и не требует использования дорогостоящего оборудования, обеспечивает получение контакта с достаточной механической прочностью.

Экструзионное формование, по В.Ю. Курочкину [1], основано на определённых механических и структурных свойствах формируемых систем, способности сорбентов уменьшать пластическую прочность под влиянием механических воздействий, и после снятия напряжения вновь восстанавливать. Именно поэтому, под влиянием механических напряжений масса становится вязкой, т.е. становится текучей и легко поддается продавливанию через фильер. После снятия напряжения и выхода из фильеры идет восстановление. Образовавшиеся гранулы пригодны для дальнейшей технологической обработки. Но все, же к формованию пригодны не все массы, экструзия возможна в том случае, когда масса обладает определёнными свойствами, такими как пластичность, которая придает любую форму без хрупкого разрушения, и прочность, которая, позволяет сохранить форму на

последующих стадиях обработки [2]. Простым примером экструзии может служить выделение зубной пасты из тюбика. Оборудованием здесь является металлический тюбик, сжимаемый пальцами и способный передать материалу давление вследствие уменьшения объема. Материал, в который добавлены размягчающие компоненты, выдавливается из отверстия на конце тюбика и сохраняет форму этого отверстия. Если бы удалось непрерывно удалять размягчающие компоненты из зубной пасты по выходе ее из тюбика, то она застыла бы в виде жесткого прутка.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1. Вещества, используемые в качестве сорбента

Сорбенты – жидкости или твердые тела, избирательно поглощающие (сорбирующие) из окружающей среды пары, газы и растворённые вещества. В зависимости от типа сорбции различают адсорбенты — тела, поглощающие вещество на своей поверхности (химические поглотители, которые связывают поглощаемое вещество, вступая с ним в химическое взаимодействие) и абсорбенты – тела, образующие с поглощённым веществом жидкий или твердый раствор. Важнейшие твёрдые сорбенты – активные угли, алюминия окись, силикагель, ионообменные смолы, цеолиты. Основными типами сорбентов являются:

- 1) поверхностно-пористые сорбенты, представляющие собой непроницаемое для растворителя твердое ядро из стекла, на поверхность которого занесен тонкий слой пористого абсорбента, обычно силикагеля
- 2) пористые сорбенты на полимерной основе
- 3) пористые сорбенты на основе силикагеля
- 4) пористые сорбенты на основе оксида алюминия.

Сорбенты подразделяются на:

- природные
- органические
- неорганические
- органоминеральные
- синтетические.

Природные сорбенты - это уникальные материалы, которые позволяют очищать различные среды (воздушное пространство, водоемы, сточные воды) от токсичных веществ, в том числе от тяжелых металлов, радионуклидов. Их с успехом используют в различных технологических процессах при изготовлении бумажно-картонной продукции, резинотехнических изделий, цемента,

трансформаторного масла, пищевой продукции (изготовлении сахара, вино-водочных изделий), фармацевтической промышленности и еще во многих технологических процессах [3].

В мире есть много месторождений с многомиллионными запасами различных эффективных сорбентов. Это, прежде всего, глинистые материалы: монтмориллонита и их разновидности - сапонит, натронит, соколит и другие глины. Изделия из природных сорбентов используют для поглощения радиоактивных и токсичных веществ (в первую очередь радиоактивных отходов АЭС), осушки и очистки природных и промышленных газов, в том числе дымовых газов; очистки питьевой воды и сточных вод в различных отраслях промышленности и в сельском хозяйстве; очистки минеральных и пищевых масел и жиров очистки нефтеперерабатывающей продукции (регенерация трансформаторного масла).

Качество сорбентов определяется показателем их емкости по отношению к нефти, показателем плавучести после сорбции нефти, степенью непроницаемости в воде, а так же возможностью десорбции нефти утилизации или регенерации сорбента.

К виду неорганических сорбентов относятся:

- диатомитовые породы (рыхлый диатомит – кизельгур),
- различные виды глины, песок, пемза, туфы, цеолиты, перлит и т. п.

Стоит отметить, что именно диатомиты и глина занимают большую часть на рынке сорбирующих веществ, поскольку имеют низкую себестоимость и при этом самый большой показатель возможности производства в крупных объемах. Также часто используется песок. Им удобно засыпать небольшие участки разливов нефти и нефтепродуктов. Однако с экологической точки зрения качество неорганических сорбентов не вполне приемлемо, поскольку в силу низкого показателя емкости (70-150 % по нефти) они не способны удерживать бензин, дизельное топливо и керосин. А в процессе ликвидации последствий аварий и разливов нефтепродуктов, в водной среде вместе с нефтью могут утонуть и сами неорганические сорбенты, что приведет к еще

большому усугублению вопроса очистки воды от загрязнения. Оптимальным решением данного вопроса является утилизация этих сорбентов путем выжигания и промывки водой с ПАВ или экстрагентами.

Синтетические сорбирующие вещества наиболее часто применяются в странах, с высокоразвитой нефтехимической промышленностью, например страны ЕЭС, Америка и Япония. Синтетический тип сорбентов изготавливается из полипропиленовых волокон, путем формирования нетканых полотен. Для этих целей широко применяют формованный полиэтилен с полимерными наполнителями, полиуретан в гранулированном или губчатом виде, а также другие виды волокон. Следует учесть, что волокнистые сорбенты являются горючими, т.е. пожаро-взрывоопасными.

На мировом рынке существует достаточное количество сорбентов для сбора нефтепродуктов, дизтоплива, мазута, жира или масла, но не каждый из них могут обеспечить необходимую безопасность, качество и удобство применения. Например, сорбент дизтоплива, мазута, масла не должен гореть сам по себе, снижая температуру воспламенения, следовательно использование сорбента на основе, синтепона, опилок, пенопласта, мха создает пожароопасную ситуацию. Есть такие токсичные вещества, которые разъедают структуру сорбента, что также не допустимо. Немало значимым атрибутом качества является последующая утилизация сорбента. Как правило, процесс утилизации осуществляется путем сжигания. Однако, процесс сжигания возможен исключительно для тех сорбирующих веществ, которые, поглотив нефтепродукты, остаются рассыпчатыми и не образуют сгустков. Такими свойствами сорбенты на основе синтетических, полимерных, угольных волокон, пенопласта, полипропилена не обладают. При нагревании плавятся, образуя сгустки, и забивают систему подачи установки, затрудняет утилизацию.

В качестве адсорбентов, успешно применяют твердые мелкозернистые материалы, которые имеют развитую пористую структуру, выраженную селективность и большую адсорбционную активность. Под активностью

следует понимать количество адсорбтива, то есть поглощаемой единицей массы (поверхности) адсорбента. При этом следует помнить, что при производстве, адсорбенты должны быть не дорогими, механически прочными, не вступать в химические реакции с веществами, поглощаемых и хорошо поддаваться многократной регенерации, не разрушая свою оболочку и не теряя своих сорбирующих показателей.

Сорбирующими веществами могут быть кристаллические вещества и высушенные гели. Гели образуются вследствие сгущения (концентрирования) коллоидных растворов, при котором коллоидные частицы сближаются, вступают во взаимодействие и образуют довольно устойчивые пространственные структуры – решетки. Высушенные гели имеют участки с не скомпенсированными полями и проявляют способность к адсорбции газов и паров, а также к набуханию при погружении в жидкость или ее пару - тем большую, чем эластичная сетка геля.

Аналогичные свойства имеют алюмогели, но их активность несколько ниже, чем силикагелей. Это вещества с мелкопористой структурой, ограниченно набухают в водных растворах.

Различают 2 типа синтетических сорбентов:

- гидрофобные;
- негидрофобные.

К положительным особенностям обоих видов сорбентов относятся высокий уровень поглощающих свойств, легкость сбора после использования, а так же возможность их многократного повторного использования после механического отжима.

Органоминеральные и природные органические сорбирующие вещества. Для ликвидации последствий нефтяных загрязнений, этот вид сорбентов подходит лучше всего, поскольку в основе изделий лежат такие материалы как модифицированный торф, макулатура, опилки, древесная щепа, шерсть, высушенные злаковые культуры. Однако лучшими минеральными сорбентами считаются сорбенты, изготовленные на основе мха сфагнума. Этот тип

сорбентов не нарушает экологический баланс и оптимален для достижения чистоты. Преимущества данного типа сорбентов обосновано тем, что не зависимо от низких температур, при использовании на твердой поверхности или на воде, сорбент не теряет своих свойств, он абсолютно безопасен для окружающей среды, людей и животных.

В зависимости от типа наполнителя, все сорбирующие вещества делятся на три основные группы:

- нефтяные сорбенты (наилучшим образом подходят для сбора нефти в тех местах, где может быть вода). Они изготовлены из инертных синтетических волокон, преимущественно полипропиленовых и волокон полипропилена и полиэстера. Эта группа сорбентов имеет очень маленький вес, и не содержит пыли. Высокая емкость поглощения позволяет уменьшить количество отходов. Некоторые из сорбентов этой группы имеют антистатическое покрытие из полипропилена и упакованы в специальную антистатическую пленку.

- сорбенты технического ухода (для сбора масла и других промышленных жидкостей). Сорбенты этой группы изготовлены из инертных синтетических волокон, преимущественно волокон полипропилена и полиэстера. Они поставляются в различных форматах. Преимущества этой группы сорбентов состоит в том, что они значительно сокращают риск загрязнения готовой продукции, уменьшают риск повреждения дорогостоящего оборудования и значительно сокращают количество отходов. Однако следует знать, что сорбенты технического ухода не должны применяться для поглощения агрессивных жидкостей.

- химические сорбирующие вещества (применяются для сбора разливов опасных жидкостей). Для изготовления химических сорбентов используются инертные, синтетические волокна (в основном волокна полипропилена). Эти сорбенты предлагаются в широком ассортименте различных форматов. Химические сорбенты являются идеальным решением при сборе разливов опасных жидкостей. Эти сорбенты изготавливаются в самых разных форматах, включая и наборы для быстрого реагирования при аварийных разливах. Они

обеспечивают высокую емкость поглощения и могут применяться даже для сбора агрессивных кислот и щелочей. К числу преимуществ химических сорбентов можно отнести быструю и эффективную локализацию и удаление последствий разлива, многочисленность химикатов.

Среди сорбирующих материалов различают такие как:

- базовый сорбент (сюда относится полипропиленовый абсорбент - нетканый материал, тончайшие нити которого соединяются между собой при помощи высокоскоростного потока горячего воздуха, предназначен для абсорбирования всех химикатов на воде и земле);

- стеганный абсорбент (это базовый тип сорбента, простеганный полипропиленовой ниткой, таким образом, он становится механически износостойким, при этом выдерживается уровень впитываемости);

- абсорбент, спаянный ультразвуком (изготовлен при помощи ультразвука, применяется, как правило, для абсорбирования химически опасных жидкостей на земле.

- износостойкий абсорбент - полипропиленовый абсорбент так же производится при помощи ультразвука, но при этом он дополнительно перфорирован, что обеспечивает его сохранность от быстрого изнашивания и стирания.

Применяется в тех местах, где большое скопление или движение людей [4].

1.2 Промышленные сорбенты и их применение

Промышленные сорбенты, которые используются в крупномасштабном адсорбционном разделении и очистке включают активированный уголь, цеолиты, активированный оксид алюминия, силикагель, и полимерные адсорбенты. Хотя мировые продажи сорбирующих материалов относительно невелики по сравнению с другими химическими товарами, сорбенты и адсорбционные процессы играют очень важную роль во многих отраслях перерабатывающей промышленности. Приблизительный объем мировых продаж этих сорбентов:

- Активированный уголь: \$ 1 млрд.

- Цеолиты: \$ 1,07 млрд.
- Активированный оксид алюминия: \$ 63 млн.
- Силикагель: \$ 71 млн.
- Полимерные адсорбенты: \$ 50 млн.

Активированный уголь

Активированные угли являются уникальными и универсальными адсорбентами из-за их большой площади поверхности, микропористой и мезопористой структуры, универсального адсорбционного эффекта, высокой сорбционной емкости для многих неполярных молекул, включая органические молекулы, и высокой степенью поверхностной активности. Они широко используются в промышленности, включающей обесцвечивание сахарного сиропа, защиту для персонала, регенерацию растворителя, удаление летучих органических соединений из воздуха и воды, водоподготовку, разделение водорода и синтез-газа и хранение природного газа. Производство активированных углей ведется одним из двух методов: карбонизации углеродистого сырья при температуре ниже 800°C в отсутствие кислорода, и активации карбонизованных продуктов. Свойства активированного угля в значительной степени зависят от природы исходных материалов, активирующих агентов и условий активации. Для газофазных применений, активированные угли, как правило, производятся в гранулах с большим количеством микропор; в то время как для жидкофазных применений, активированный уголь получают в виде порошка с относительно большими мезопорами для повышения скорости массопередачи в атомы углерода.

Активированные угли представляют собой сложные продукты, которые трудно классифицировать на основе их поведения, характеристик поверхности и методов подготовки. Тем не менее, некоторые классификации общего назначения производятся на основе их физических характеристик.

1. Порошкообразный активированный уголь (ПАУ), (R 1)

Обычно, активные угли (R 1) представляют собой порошки, состоящие из частиц или мелких гранул менее 1,0 мм по размеру со средним диаметром от

0,15 до 0,25 мм. Исходя из этого, они обладают большой площадью поверхности по отношению к объему вещества, и небольшим диффузионным расстоянием между частицами. ПАУ состоит из дробленых или молотых углеродных частиц, 95-100% которых будет проходить через определенное сито. Активированный уголь, подразделяется на активированный уголь типа R 1, удерживаемый на сите 50 (размер ячеек 0,297 мм), и ПАУ - более тонкий материал, классифицированный системой ASTM (Американская система классификации материалов), которому соответствует сито 80 (0,177 мм) и меньше. Уголь типа ПАУ не используют в адсорбционных колонках, так как он значительно замедляет скорость процесса. ПАУ, как правило, используют в других технологических процессах, таких как забор сырой воды, быстрое разделение смесей, а так же в отстойниках и гравитационных фильтрах.

2. Гранулированный активированный уголь (ГАУ)

Гранулированный активированный уголь имеет больший размер частиц по сравнению с порошкообразным активированным углем и, следовательно, имеет меньшую площадь поверхности. Исходя из этого, диффузия адсорбата является важным фактором. Такие угли являются предпочтительными для всех процессов поглощения газов и паров, так как их скорость диффузии больше. ГАУ используются для очистки воды, дезодорирования и разделения компонентов системы потока, а так же для быстрого разделения смесей. ГАУ может находиться либо в гранулированном, либо в экструдированном виде. Размеры гранул угля составляют 8×20 , 20×40 или 8×30 для применения в жидкой фазе и 4×6 , 4×8 или 4×10 мм для применения в паровой фазе. Наиболее популярными в применении являются жидкофазные угли с размерами 12×40 и 8×30 мм, благодаря сбалансированному размеру, площади поверхности и характеристиками потерь.

3. Экструдированный активированный уголь

Экструдированный активированный уголь сочетает в себе порошкообразный активированный уголь и связующее, которые сплавлены вместе и сформованы в цилиндрические блоки с диаметром от 0,8 до 130 мм.

Такой тип активированного угля используется для адсорбции в газовой фазе, благодаря небольшим перепадам давления, высокой прочности сорбента и низкой степени пыления вещества.

4. Активированный уголь сферической формы

Шарик активированного угля изготовлен из нефтяного пека и производится диаметром от 0,35 до 0,80 мм. Подобно экструдированному углю, он также известен небольшим перепадом давления, высокой механической прочностью и низким содержанием пыли, но с меньшим размером зерен. Его сферическая форма делает его предпочтительным для применения в псевдоожиженном слое, например для фильтрования воды.

5. Импрегнированные активированные угли

Пористые угли, содержащие несколько типов неорганической пропитки, таких как йод, серебро, катионы Al, Mn, Zn, Fe, Li, Ca были также произведены для конкретного применения при очистке воздуха от загрязнений, особенно в музеях и галереях. Благодаря антисептическим и антибактериальным свойствам серебра, активированный уголь, пропитанный им, применяют в качестве адсорбента для очистки бытовых сточных вод. Питьевая вода может быть получена из природных вод путем обработки смесью активированного угля и $Al(OH)_3$, и флокулянта. Пропитанные угли также используются для адсорбции сероводорода (H_2S) и тиолов.

6. Угли с полимерным покрытием

Процесс представляет собой покрытие пористого угля биосовместимым полимером, для обеспечения гладкого и проницаемого слоя, без блокировки пор. Полученные угли применяются для гемоперфузии. Гемоперфузия – это метод, при котором производится обработка больших объемов крови пациента через адсорбирующее вещество, с целью удаления токсичных веществ.

Активированный уголь также доступен в специальных формах, таких как ткани и волокна. "Углеродная ткань", например, используется в защитной амуниции для военных.

Цеолиты

Цеолиты представляют собой кристаллические алюмосиликаты, образованные тетраэдрическими группами SiO_4 и AlO_4 , объединенных на основе общих атомов кислорода. Общая химическая формула цеолитов:



Где $x+y$ - сумма тетраэдров в элементарной ячейке, m - число катионов M , n -валентность катиона. Тетраэдры могут быть расположены по-разному с образованием различных кристаллических структур. Некоторые цеолиты существуют в виде минералов в природе, но все коммерчески важные цеолиты являются синтетическими. Типичный процесс производства включает нагревание водных растворов глинозема и кремнезема с гидроксидом натрия. Эквивалентные реагенты включают алюминат натрия и силикат натрия. Дальнейшие изменения представляют собой изменения в катионах, включая четвертичные катионы аммония.

Синтетические цеолиты имеют некоторые ключевые преимущества перед своими природными аналогами. Синтетические материалы в чистом виде изготавливаются поэтапно. Кроме того, можно производить цеолитные структуры, которые не существуют в природе. Цеолит является широко известным примером. Поскольку основным сырьем, используемым для производства цеолитов, являются диоксид кремния и оксид алюминия, которые представляют собой одни из наиболее распространенных минеральных компонентов на земле, потенциал поставки цеолитов практически неограничен.

Цеолиты являются уникальными адсорбентами вследствие их особых поверхностных химических и кристаллических структур пор. Следует отметить, что только 10% от мировых продаж цеолита используется в качестве адсорбентов; Большинство цеолитов используют в качестве моющих добавок (цеолит 4A), пищевых добавок для животных (цеолит 4A), ионного обмена, а также носителей катализаторов. Среди всех промышленных сорбентов цеолиты, вероятно, наиболее изучены и задокументированы.

Активированная окись алюминия (активированный глинозем)

Активированный оксид алюминия представляет собой пористую форму

оксида алюминия с большой площадью поверхности и формулой $Al_2O_3 \cdot nH_2O$. В промышленности его получают либо из тепловой дегидратации тригидрата алюминия, $Al(OH)_3$, либо непосредственно из боксита ($Al_2O_3 \cdot 3H_2O$), в качестве побочного продукта процесса Байера для извлечения глинозема из боксита. Поверхность глинозема является более полярной, чем силикагель и, отражающий амфотерный характер алюминий, имеет как кислотные, так и основные характеристики. Площадь поверхности находится в диапазоне 250–350 м²/г в зависимости от температуры активации и источника сырья. Из-за того, что активированный оксид алюминия имеет большую емкость с водой, чем силикагель при повышенных температурах, он используется в основном в качестве осушителя для теплых газов, включая воздух. Тем не менее, активированный оксид алюминия имеет низкую теплоту адсорбции для воды и других полярных молекул, по сравнению с цеолитом. Активированный оксид алюминия также демонстрирует умеренное сродство к адсорбции диоксида углерода, что делает его подходящим сорбентом для удаления воды и диоксида углерода из воздуха. Эти адсорбционные свойства активированного оксида алюминия были экстенсивно изучены для процесса очистки воздуха промышленных газовых компаний. Это является прекрасным примером, чтобы продемонстрировать преимущество регенерируемости сорбента над сорбционной емкостью и селективностью в процессах адсорбции при переменном давлении. Активированный оксид алюминия является также отличным носителем для катализаторов. Больше способов применения и свойств активированного оксида алюминия представлено в табл. 1.1 и 1.2.

Таблица 1.1. Характерные физические свойства промышленных сорбентов

Адсорбент	Основные свойства	Площадь поверхности (м ² /г)	Диаметр пор (Å)	Гигроскопичность	Плотность частиц (г/см ³)
Активированный уголь Малые поры Большие поры	Гидрофобный аморфный	400-1200 200-600	10-25 >30	0.4-0.6 ≈0.5	0.5-0.9 0.6-0.8
Цеолит	Гидрофильный/ гидрофобный	600-700	3-10	0.6	1.0

	кристаллический				
Активированный глинозем	Гидрофильный кристаллический/реентгеноаморфный	200-350	10-75	0.5	1.25
Силикагель	Гидрофильный/гидрофобный	750-850	22-26	0.47	1.09
Малые поры	гидрофобный	300-350	100-150	0.71	1.62
Большие поры	аморфный				
Полимерный адсорбент	Гидрофильный/гидрофобный	450-1100	25-90	0.5	1.25
Углеродное молекулярное сито	Гидрофильный	≈400	3-9	0.5	1.0

Таблица 1.2. Применение промышленных сорбентов

Адсорбент	Применение
Активированный уголь	Выделение водорода из синтез-газа и процессы гидрирования; Получение этилена из метана и водорода; Получение мономера винилхлорида из воздуха; Одорирование газов; Восстановление паров растворителя; Удаление оксидов серы и NO _x ; Очистка гелия; Очистка ядерных отходящих газов; Обесцвечивания сиропов, сахара и патоки; Очистка воды, в том числе удаление фенола, галогенированных соединений, пестицидов, хлора
Углеродное молекулярное сито	Выделение азота из воздуха
Цеолит	Выделение кислорода из воздуха; Сушка газов; Удаление воды из азеотропов; Нейтрализация кислотных газов и жидкостей; Очистка водорода; Разделение аммиака и водорода; Восстановление диоксида углерода; Разделение кислорода и аргона; Удаление ацетилена, пропана и бутана из воздуха; Разделение ксилолов и этилбензола; Отделение нормальных парафинов из разветвленных; Разделение олефинов и ароматических соединений из парафинов; Восстановление монооксида углерода из метана и водорода; Очистка ядерных отходящих газов; Разделение крезолов; Сушка хладагентов и органических жидкостей; Разделение систем растворителей; Борьба с загрязнением, включая удаление ртути, NO _x , и серы из газов; Восстановление фруктозы из кукурузного сиропа
Активированный	Сушка газов, органических растворителей, трансформаторных

глинозем	масел; Удаление HCl из водорода; Удаление фтора и бромфтористых соединений в процессах алкилирования; Удаление воды и диоксида углерода из воздуха
Силикагель	Сушка газов, хладагентов, органических растворителей, трансформаторных масел; В качестве осушителя в упаковках и стеклопакетах; Контрольная точка росы природного газа
Полимерные адсорбенты	Очистка воды, в том числе удаление фенола, хлорфенола, кетонов, спиртов, ароматических соединений, анилина, нитро- и хлор-ароматических, полихлорированных бифенилов (ПХБ), пестицидов, производство антибиотиков, синтетических моющих средств, эмульгатора, увлажняющих агентов, красителей, и радионуклидов; Восстановление и очистка стероидов, аминокислот и полипептидов; Разделение жирных кислот из воды и толуола; Разделение ароматических соединений от алифатических соединений; Выделение гидрохинона из мономеров; Восстановление белков и ферментов Удаление цвета из сиропов Удаление органических соединений из перекиси водорода
Глины	Удаление органических пигментов Переработка минеральных масел Удаление ПХД

Силикагели

Силикагель наиболее широко используется как осушитель, из-за его большой адсорбционной емкости для воды (40 % по весу) и способности к регенерации (150°C, по сравнению с 350°C для цеолитов). Силикагель представлен частично обезвоженной полимерная форма коллоидной кремниевой кислоты с формулой $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Содержащаяся в силикагеле вода, которая обычно составляет около 5 % от веса, представлена в химически связанных гидроксильных группах. Силикагель представляет собой аморфный материал, содержащий сферические частицы размером 20-200 Å, который агрегирует с образованием сорбента, размер пор которого находится в диапазоне 60-250 Å, а площадь поверхности 100-850 м²/г, в зависимости от плотности геля. Поверхность силикагеля имеет в основном Si-OH и Si-O-Si полярные группы, поэтому он может быть использован для адсорбции воды,

спиртов, фенолов, аминов и т.п. благодаря механизмам водородных связей. Другие способы применения включают в себя разделение ароматических соединений от парафинов, хроматографическое разделение органических молекул и модифицирование диоксида кремния в хроматографических колонках.

Виды силикагелей:

Тип А – прозрачные гранулы, приблизительный диаметр пор 2,5 нм, обладает влагостойкими свойствами, может использоваться в качестве носителей для катализаторов, адсорбентов.

Тип В – полупрозрачные белые гранулы, диаметр пор 4,5-7,0 нм, применяются как жидкие адсорбенты, как сухие и парфюмерные носители, также могут быть использованы в качестве носителей катализаторов, наполнителей для кошачьих туалетов.

Тип С – полупрозрачные, микропористая структура, сырье для наполнителя кошачьего туалета. Кроме того высушенный и просеянный он образует макропористый силикагель, который используется в качестве осушающего адсорбента и носителя катализатора.

Силикалюмогель – светло-желтый, химически стабильный, огнестойкий, не растворимый исключением щелочных или плавиковой кислот. Поверхность полярная, термически стабильный, производительность выше, чем у мелкопористого силикагеля.

Стабилизированный силикагель – некристаллический микропористый твердый порошок, нетоксичен, огнеупорный, используется в пивоварении для улучшения вкуса, чистоты, цвета и пены, удаления примесей, не являющихся микроорганизмами.

Полимерные адсорбенты

Широкий спектр синтетических, неионных полимеров доступен для использования в качестве сорбентов, ионообменных смол, и в частности для применения в аналитической хроматографии. Коммерчески доступные смолы производятся в форме шарика (обычно 0,5 мм в диаметре), как правило, они

основаны на сополимерах стирола /дивинилбензола и сложных эфирах акриловой кислоты/дивинилбензола, и имеют широкий диапазон поверхностной полярности, пористости и размеров макропор. Пористость может быть образована путем эмульсионной полимеризации соответствующих мономеров в присутствии растворителя, который растворяет мономеры и служит агентом, вызывающим набухание полимера. Это создает полимерную матрицу с площадью поверхности вплоть до $1100 \text{ м}^2/\text{г}$. Основное применение полимерные адсорбенты находят в области очистки воды. Макропористые полимерные смолы могут быть изменены путем присоединения различных функциональных групп, для имитации активированного угля, и замены активированных углей для некоторых специальных применений в пищевой и фармацевтической промышленности, где загрязнения от черных углей конечных продуктов является серьезной проблемой.

1.3 Химические, физические и механические свойства

Действие сорбента основано на процессах адсорбции, т.е. в поглощении адсорбата поверхностью сорбента. Молекулы адсорбата притягиваются со стороны поверхности сорбента и оседают на ней, покрывая эту поверхность слоем адсорбируемых молекул, при этом химической реакции не происходит, и адсорбированные молекулы сохраняют свою индивидуальность. Адсорбционные силы имеют ту же природу, что и силы межмолекулярного взаимодействия, и начинают проявляться при приближении молекул адсорбата к поверхности сорбента на расстояние соизмеримое с размерами молекул [4].

Характеристики сорбентов

Промышленные сорбенты, используемые в циклических процессах адсорбции, в идеале должны соответствовать следующим требованиям:

- Высокой селективностью вытекающей из равновесного, кинетического, или пространственного эффекта;
- Высокой сорбционной емкостью;
- Высокой кинетикой адсорбции;

- Способностью к регенерации;
- Хорошей механической прочностью;
- Низкой стоимостью.

Приведенные выше требования к адсорбционной производительности могут быть просто отражены через характерные свойства адсорбента, такие как:

- Большой внутренний объем пор;
- Большая площадь внутренней поверхности;
- Контролируемое свойство поверхности через определенные функциональные группы;
- Контролируемое распределение пор по размерам, предпочтительно в диапазоне микропор;
- Слабые взаимодействия между адсорбатом и адсорбентом (в основном физических сорбентов);
- Использование неорганических или керамических материалов для повышения химической и механической стабильности;
- Низкая стоимость сырья.

Эти основные требования, как правило, предъявляются адсорбентам, используемым в циклических процессах адсорбции, основанных на физической адсорбции. В данный момент увеличивается спрос на сильные химических адсорбентов, используемые в процессах очистки для удаления микропримесей из основного потока жидкостей, таких как удаление токсичных веществ из электронных потоков технологического газа, и удаления токсичных или радиоактивных веществ из загрязненной воды. В этих случаях сорбенты используются в качестве поглощающих материалов; регенерация не требуется, и вместо этого, отработанные сорбенты утилизируются в специально отведенных местах, регулируемых государственной экологической политикой.

1.4 Требования, предъявляемые к формуемой массе

Выделяют следующие критерии:

1) в процессе продавливания через фильеру масса должна в точности принять заданную форму, т.е. должна быть хорошая пластическая деформация;

2) сформованное изделие не должно иметь макро дефектов, которые снижают его прочность и ухудшают товарный вид готовых сорбентов и катализаторов;

3) в процессе сушки и прокаливания (последнее часто необходимо для получения необходимой прочности или фазового состава катализаторов и сорбентов) не должны возникать дефектов такие, как искривление экструдата. Его растрескивание, которое очень часто возникает при прокаливании в результате фазовых переходов, связанных с изменением объема элементарной ячейки и, соответственно, линейной усадкой (например, $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) и протекания твёрдофазных реакций (например, дегидратация гидроксидов или алюмосиликатов, синтез новых соединений), что также сопровождается усадкой изделий [5].

1.4.1 Содержание связующей жидкости

Применение определенного вида связующих веществ и их количество зависят от физико-химических свойств формуемой массы. В качестве связующей жидкости могут быть использованы: алюмогели, силикагели полиакриламид (ПАА), карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ) поливиниловый спирт (ПВС), метилцеллюлоза (МЦ) и др. Другие полимерные связующие, используемые для формования сорбентов, представлены в табл. 1.3 [5].

Таблица 1.3. Полимерные связующие

Химическая природа связующего	Связующее	Полимерный композиционный материал	
Эпоксидного типа	ЭДТ-10, ЭДНМ	Стеклопластики ВПС-5, ВПС-7, ВПС-13, ВПС-20, СТ-ЭДНМ	
	ЭДИ, ЭБСМ, 5-211-Б, ЭДА-12, ЭДТ-69Н		Стеклотекстолиты СТ-ЭДИ, СТ-ЭБСМ, СК-5-211Б, СТ-5-211Б; ВПС-26, СТ-69Н
			Углепластики КМУ-3л, КМУ-3, КМУ-4э, КМУ-11э
			Микросферотекстолиты МСТ-2, МСТ-6П
			Органиты 12Т, 12ТКС/42
			Гибридный материал ГКМ-1
ВС-2526, ВС-2526К, ВС-2526М, ВС-2561, ВС-2561С,		Стеклотекстолиты ВПС-30П, ВПС-30; ВПС-30К, СК-2561с	

	BC-2515	Углепластики КМУ-7э, КМУ-13; Органыты 16Т, 16В, 17Н; Гибридные материалы ГКМ-2, ГКМ-3
	ЭНФБ-2М, УП-2227М	Углепластики КМУ-4э-2м, КМУ-4л-2м, КМУ-400
Фенольного типа	ФП-520, ФПР-520, ПФП-4, РС-Н	ПКМ для деталей интерьера; стеклотекстолит СТ-520
Эпоксизоцианатного типа	ЭП-2МК	Стеклотекстолиты ЭПС-1мп, ЭПС-2мт; Органит 5Т
Кремний-органического типа	К-9, К-10, К-101, К-182-82, К-2105, К-101-0, К-2104, К-9-0, К-2104-0	Стеклотекстолиты СТКМ, СТКМ-С, СК-101, СК-9ФА, СК-10
		Прессовочные материалы марки ПКО
		Безрастворное связующее К-9-70
		Термо-, топливостойкие герметики типа ВГФ
		Клеи серий ВК и ВКТ
		Напыляемая теплозащита ВТЗ

1.4.2 Размер частиц

Так как осадок обладает удельной поверхностью и высокой сорбционной емкостью, эксплуатация его в порошкообразном виде проблематично: происходит пыление при засыпке в сорбционную колонку, вымывание тонкодисперсных частиц, уплотнение осадка и т. п. Следовательно, рекомендуется использовать сорбент в виде гранул размером порядка 2...7 мм.

Частицы катализатора подбирают так, чтобы при создании из них неподвижного слоя в реакторе перепад давления по высоте слоя катализатора затрачивается дополнительная энергия для подачи сырья в реактор [6].

1.4.3 Механическая прочность

Механическая прочность катализаторов и сорбентов определяет длительность их пребывания в неизменной форме в реакторах. Частицы сорбентов и катализаторов подвергаются в период их эксплуатации истиранию реакционной смесью, растрескиванию, истиранию при движении по транспортным линиям за счет соударения их друг с другом и со стенками транспортных линий.

Для катализаторов и сорбентов-таблеток и шариков механическую

прочность определяют путем раздавливания или разрезания. Шариковые катализаторы крекинга выдерживают нагрузку до 50 кг/см^2 . Таблетированные сорбенты типа оксида алюминия, алюмокобальтмолибденоксидные катализаторы и другие выдерживают нагрузку $1,8-2,8 \text{ кг/см}^2$.

1.4.4 Термостойкость

Термостойкость, или термостабильность носителей, сорбентов и катализаторов определяют сопротивление их воздействию высоких температур на изменение структуры (размера пор, удельной поверхности) и изменение активности и селективности. Твердые тела вначале сушат при температурах до 425K , а затем прогревают в потоке сухого воздуха. В паровоздушной смеси или в среде чистого водяного пара при температурах $993-1073 \text{ K}$ в течение от трех до шести часов. Сушка позволяет стабилизировать текстуру твердого тела и повысить их термосопротивление, в условиях регенерации от коксовых отложений при температурах до 1073K [7].

Термостабильность твердых катализаторов и сорбентов зависит от пористости зерен. Тонкопористые частицы обладают меньшей термостойкостью, чем низкопористые. В тонких порах более легко протекают адсорбционно-десорбционные процессы, которые могут приводить к разрушению стенок пор, к замыканию пор. К повышению извилистости пор. В тонких порах возможно взаимодействие ОН-групп друг с другом с выделением воды, что повышает напряженность стенок пор. Кроме того, в порах с диаметром $0,2-0,6 \text{ нм}$ могут создавать значительные электростатические поля. Эти поля, накладываясь друг на друга, приводят к разрушению пор при нагревании катализаторов или при воздействии молекул и реагентов на стенки пор.

В крупных порах такие эффекты отсутствуют, и они менее подвержены разрушению, чем мелкие поры. В качестве примера можно привести поведение образца алюмосиликатного катализатора с удельной поверхностью $370 \text{ м}^2/\text{г}$ и средним диаметром пор $5,0 \text{ нм}$ и катализатора с удельной поверхностью

280 м²/г и средним диаметром пор 9 нм. Эти два образца катализатора были прокалены при T=1173К. после прокаливания первого образца величина удельной поверхности снизилась до 210 м²/г. То есть на 40,5%, а второго образца - до 220 м²/г, то есть на 21,4%.

Это определяет необходимость оптимизации подбора условий синтеза твердых катализаторов, обеспечивающих получения набора пор повышенных размеров в частицах в пределах 6-15нм .

1.5 Свойства полученных гранул

Гранулированные сорбенты должны обладать высокой пористостью и удельной поверхностью для высокой активности, также высокой прочностью, которая необходима для сохранения формы гранул в процессах работы контактов и транспортировки.

1.5.1 Прочность катализаторов и сорбентов

Механическая прочность определяется способом приготовления катализаторов. Требования к прочности зависит от условий эксплуатации катализатора, необходимо учитывать изменение прочности под воздействием повышенной температуры и реакционной среды.

Наличие больших внутренних напряжений и макроструктурных неоднородностей (дефектов, трещин) снижают прочность, следовательно, механическая прочность зависит от пористой структуры.

Малая механическая прочность многих катализаторов приводит к потерям катализатора, к росту гидравлического сопротивления каталитического реактора, большинство активных катализаторов не могут быть использованы в промышленности из-за малой прочности. В реакторах с неподвижным слоем носители должны быть устойчивы к давлению выше лежащих слоев и механическим воздействиям при загрузке и выгрузке, эрозии потоком жидкости или газа, изменению температуры. В реакторах с псевдооживленным слоем должны быть устойчивы к истиранию при ударах частиц друг о друга и об стенки реакторов. Увеличение механической прочности катализаторов

достигается применением специальных методов приготовления – таблетированием при высоких давлениях с применением инертных связующих (SiO_2 , графит) и т.д.

В псевдооживленном и в движущемся слоях используют зерна катализатора сферической формы с гладкой поверхностью [8].

1.5.2 Пористость сорбентов и катализаторов

Дубинин М.М [4] предложил классификацию адсорбентов и катализаторов по предельным размерам пор и выделил твердые тела с микропорами, супермикропорами, мезопорами, и макропорами.

Макропористые тела содержат поры с размером от 100 до 200 нм (например, природные алюмосиликаты типа силлиманит, активированные угли). Они имеют удельные поверхности в пределах от 0,5 до 50 $\text{м}^2/\text{г}$. Эти поры играют роль транспортных каналов, и торможение химических процессов внутренней диффузией молекул реагентов в них отсутствуют.

Мезопористые тела имеют поры радиусом от 1,5 до 200 нм. Эти твердые тела имеют удельную поверхность в пределах от 20-500 $\text{м}^2/\text{г}$. В них имеется широкий набор пор по радиусам. Такие твердые сорбенты и катализаторы имеют наиболее широкое распространение в промышленности (алюмосиликаты, оксиды кремния и алюминия). В присутствии таких катализаторов каталитические процессы могут протекать во внешнекинетической области или тормозиться внутренней диффузией или внутрикинетическими процессами, которые протекают внутри пор.

Супермикропористые тела обладают порами в пределах размеров 0,5–1,5 нм. Удельная поверхность таких катализаторов и сорбентов меняется в пределах от 500 до 1000 $\text{м}^2/\text{г}$. К таким сорбентам относят цеолиталюмосиликатные или цеолитцирконосилкатные катализаторы, высокопористые силикагели.

Микропористые твердые тела имеют поры с размером менее 0,6 нм. Удельная поверхность для этих твердых тел меняется в пределах 700-1200 $\text{м}^2/\text{г}$.

Таковыми твердыми сорбентами и катализаторами являются цеолиты типа NaX, NaY, MY и др.

В микропорах стенки расположены на расстоянии 0,2-0,6 нм, и поля, развиваемые активными центрами в этих порах, перекрываются друг с другом и оказывают специфическое воздействие на молекулы реагентов.

В реальных сорбентах имеется широкая полидисперсность твердых катализаторов и сорбентов определяется соответствующим распределением пор по радиусам и средним эффективным радиусом пор и их объемом.

1.5.3 Удельная поверхность

От величины удельной поверхности зависят эффективность твердых катализаторов, свойства фильтрующих материалов, поглотительная способность адсорбентов. Удельная поверхность определяет дисперсность порошкообразных материалов: минеральных вяжущих веществ, наполнителей, пылевидного топлива, пигментов, и др. Величина удельной поверхности находится в зависимости от размеров сорбируемых молекул. Одно и то же вещество при сорбции мелких молекул имеет большую удельную поверхность, при сорбции крупных молекул имеет малую удельную поверхность. Помимо удельной поверхности, немало важной характеристикой пористых тел является распределение поверхности пор по радиусам пор [9].

1.5.4 Сорбционная емкость (каталитическая активность)

В технологических расчетах каталитическая активность определяется скоростью реакции, которая отнесена к единице массы или объема и зависит от химического состава.

Метод приготовления катализаторов в условиях катализа должен учитывать возможность образования активных центров. В гетерогенном катализе активность катализатора, равна удельной поверхности катализатора, значительной удельной поверхностью обладают пористые высокодисперсные сорбенты или катализаторы, которые были получены нанесением активных компонентов на пористые носители. Со снижением размера частиц

увеличивается удельная поверхность. При меньших диаметрах пор и малых частицах возможен переход реакции из кинетической во внутренидиффузионную область [8].

1.5.5 Селективность сорбентов и катализаторов

Селективностью или избирательностью катализатора называют отношение скорости накопления целевого продукта к сумме скоростей всех превращений исходного вещества. Выделяют несколько факторов связанных с составом гетерогенного катализатора, которые идентифицируют избирательность. Так называемый эффект ансамбля, она определяется числом атомов катализатора, с которыми взаимодействует одна молекула реагента. При окислении углеводородов на оксидных носителях продукты парциального окисления (альдегиды, кислоты и т.д.) образуются при взаимодействии молекулы с одним или с двумя атомами кислорода на поверхности катализатора, а продукты глубокого окисления (CO_2 и H_2O) – при окислении с несколькими атомами кислорода. Поэтому разбавление в твердом растворе активного оксида с неактивным носителем ведет к возрастанию селективности катализатора в реакции парциального окисления. Избирательность может изменяться также благодаря изменению электронных свойств и окружения активных центров катализатора (эффект лиганда). В реакциях сложных органических молекул большое значение имеет образование продукта, близкого по своей форме и размерам к размерам микропор носителя.

Избирательность зависит от размера зерен, от его пористости и характера их укладки. Если целевой продукт является промежуточным, в цепи последовательных реакций, то увеличение пористости снижает селективность катализатора относительно этого продукта [8].

1.6 Способы гранулирования сорбентов

Эффективная работа сорбентов и катализаторов в промышленных установках зависит не только от физико-химических свойств, применяемых контактов, но и от геометрической формы применяемых сорбентов или

катализаторов. Это становится понятным, если учесть, что геометрическая форма существенно влияет на характер процессов массо- и теплообмена в слое и на газодинамическое сопротивление. Оптимизация режима протекания сорбционных и каталитических процессов позволяет существенно повысить экономичность производства как за счёт увеличения степени превращения, а значит, степени использования сырья, так и за счёт уменьшения массы загружаемых контактов и снижения газодинамического сопротивления слоя. И здесь с лучшей стороны зарекомендовали себя катализаторы и сорбенты сложной геометрической формы, в том числе блоки сотовой структуры. В настоящее время различают четыре основных способа формования: полусухое (прессование, таблетирование), метод окатывания и гранулирование в жидких средах, пластическое (экструзионное) формование [10].

1.6.1 Таблетирование

Одним из известных способов формования гранул сорбентов и катализаторов является прессование на таблеточных машинах. Этот метод имеет несравненное преимущество при получении гранул с несложной геометрической формой (кольцевидных или цилиндрических) с гладкой поверхностью, которые, обладая хорошей сыпучестью, при загрузке слоя упаковываются с равномерной порозностью, обеспечивая одинаковые газодинамические условия и равномерное распределение газа по слою. Таблетирование даёт прочную гранулу, способную выдерживать не только нагрузки в процессе работы, но и более сильные удары при транспортировке и загрузке.

В заводских условиях таблетирование осуществляется на роторных машинах непрерывного действия, у которых загрузка порошка и выгрузка таблеток осуществляется автоматически. Основным недостатком практически всех используемых таблеточных машин является сравнительно быстрая изнашиваемость пресс-инструмента, особенно усиливающаяся при таблетировании порошков, обладающих повышенными абразивными

свойствами. Производительность таблеточных машин главным образом определяется количеством произведённых таблеток в единицу времени. На современных промышленных образцах не превышает, обычно, 250-300 кг/ч. По сравнению с таблеточными машинами преимущественно обладают экструдеры, они обладают более высокой производительностью. Например, у шнековых экструдеров производительность до 2000 кг/ч. Другим преимуществом экструзии является получение изделий практически любой геометрической формы, например, блочные сотовой структуры с винтовыми каналами. Для методов таблетирования и прессования набор возможных форм существенно ограничен. Кроме того, срок службы формовочных машин гораздо больше, т.к. давление при формовании паст на порядок ниже, чем при операции таблетирования [1].

В лабораторных условиях таблетирование осуществляется обычно на ручном прессе или лабораторной таблеточной машине. Гранулируемый материал в порошкообразном состоянии тем или иным способом засыпают в матрицу и сдавливают опусканием верхнего пуансона и поднятием нижнего. Процесс таблетирования состоит из двух основных стадий: сжатия прессуемого порошка и выталкивания таблеток. Процесс сжатия исходного материала можно разделить на три стадии. На первой стадии происходит уплотнение первоначально рыхлой массы (пресс-порошка). При этом частицы смещаются друг относительно друга, заполняя большие промежутки. Существенной деформации частиц порошка здесь не происходит, площадь контактов между ними и прочность их невелики. Поэтому прочность таблеток на первой стадии мала. По мере увеличения давления происходит деформация частиц материала, имеющая вначале пластический характер (вторая стадия) и заканчивающаяся хрупким разрушением. На этой стадии частицы скользят друг по другу и по стенке матрицы, формируется пористая структура и прочность, обусловленная механическим сцеплением частиц, межмолекулярным взаимодействием поверхностей частиц и т.п. При дальнейшем увеличении давления процесс переходит в третью стадию – объемное сжатие, предельным случаем которой

является образование пористого тела [5].

1.6.2 Гранулирование в жидких средах

Укрупнение частиц в жидких гетерогенных системах прослеживается, начиная с молекулярного уровня, и характерно для растворов поверхностно-активных веществ (ПАВ). При определенной, характерной для данного ПАВ, концентрации в растворе образуются агрегаты – мицеллы, состоящие из десятков и сотен дифильных молекул. Лиофильные группы этих молекул обращены к соответствующему растворителю, а лиофобные соединяются друг с другом, образуя ядро мицеллы. Концентрация ПАВ, при которой наблюдается образование мицелл, называется критической концентрацией мицеллообразования (ККМ).

В водных растворах молекул ПАВ при увеличении их концентрации до ККМ образуют мицеллы, представляющие собой сферические агрегаты, у которых углеводородные цепи молекул соединяются друг с другом, а полярные группы обращены наружу. Такая мицелла способна растворять (солюбилизировать) углеводороды.

Гетерогенность зелей, суспензий, эмульсий, обладающих огромной межфазной поверхностью раздела, является важнейшим признаком этих систем, качественно отличающихся от молекулярных растворов.

Реализация процесса ГЖС возможно только при соблюдении следующих требований:

- поверхность агрегируемых частиц должна быть противоположно полярной к дисперсионной среды;
- связующая жидкость должна быть однополярной с поверхностью гранулируемых частиц.

При соблюдении этих требований, соответствующей дозировке отдельных фаз и гидродинамического воздействия на них образуются гранулы.

Процесс ГЖС применяется для решения следующих задач:

- разделения промышленных суспензий с выдачей твердой фазы в виде

гранул;

– обогащения тонкодисперсных частиц угля, рудных минералов, главным образом сульфидов и окислов;

– гранулирование металлических порошков, полимеров, композиционных материалов;

– гранулирования катализаторов и носителей катализаторов;

– гранулирования красителей, лекарственных веществ, витаминов, минеральных удобрений [11].

1.6.3 Окатывание на тарельчатом грануляторе

Способ грануляции основан на увлажнении порошкообразного материала. Материал подвергают обработке на тарельчатом (дисковом) грануляторе или во вращающемся барабане.

При вращении рабочей части машины частицы порошка под влиянием центробежной силы отбрасываются к стенке. Часть порошка захватывается стенкой и поднимается на некоторую высоту, а затем падает или сползает вниз. При подъеме частицы движутся совместно со стенкой, практически не перемещаясь друг относительно друга. По достижению некоторой высоты, зависящей от веса частицы, скорости вращения стенки и угла естественного откоса гранула под действием силы тяжести скатывается вниз. В процессе перемещения сверху вниз гранулы перекатываются по поверхности более мелких частиц, при этом они увеличиваются в размере и уплотняются за счет внедрения в их объем частиц меньшего размера [12]. Наиболее полное перемешивание и уплотнение гранул достигаются при «лавинообразном» режиме окатывания, обеспечивающем возникновение значительных механических усилий при соударениях частиц и гранул. По мере увеличения размера гранулы скорость ее замедляется и при достижении определенного размера практически прекращается, благодаря этому из гранулятора могут выходить гранулы со сравнительно узким распределением по размерам.

Конечная величина гранул зависит от свойств гранулируемых

материалов, количества связующего и параметров машин.

Гранулирование окатыванием можно осуществлять как сухим, так и влажным методом. Сухое гранулирование используется редко, так как прочность получаемого продукта недостаточна, кроме того, имеет место пыление порошка. Поэтому чаще применяют гранулирование в присутствии воды и водных растворов связующего. Смачивание производится обрызгиванием массы с помощью форсунок или другим способом [13].

1.6.4 Пластическое (экструзионное) формование

Экструзионное формование отличается простотой и не требует использования дорогостоящего оборудования, обеспечивая получение контакта с достаточно высокой механической прочностью. Однако формованные сорбенты и катализаторы отличаются от сорбентов, полученные таблетированием при оценке коммерческого вида, при транспортировке и эксплуатации образуют, значительное количество пыли, что является серьёзным недостатком, но вполне устранимым при подборе рациональной технологии приготовления.

Экструзионное формование, согласно В.Ю. Курочкину [1], основывается на определённых структурно-механических свойствах формуемых систем, их способности под влиянием механических воздействий снижать пластическую прочность, а после снятия напряжения вновь её восстанавливать. Благодаря этому, под действием механических усилий рабочих органов формовочной машины масса становится менее вязкой, приобретает способность к течению и поддаётся продавливанию через фильеру. После выхода из фильеры и снятия напряжения происходит тиксотропное восстановление пластической прочности, и отформованные гранулы становятся пригодными для дальнейшей технологической обработки.

В катализаторной технологии наибольшее распространение получили шнековые экструдеры [6,14]. Отличительной особенностью данного типа формователей является упрощенный переход от одних типоразмеров к другим,

сводящийся только к замене мундштука, и возможность достижения значительных усилий на выходе из фильеры.

Однако к экструзионному формованию пригодны далеко не все массы. Экструзия возможна лишь в том случае, если масса обладает определёнными реологическими свойствами: пластичностью, необходимой для придания любой формы без хрупкого разрушения, и вместе с тем достаточной прочностью коагуляционной структуры, которая позволяет сохранить приданную форму на последующих стадиях обработки [15, 16-19].

Экструзионное формование по своей сути является процессом течения формовочной массы через каналы фильеры. Однако по сравнению с процессами течения, которые рассматриваются в классической гидродинамике, экструзия имеет свою специфику. Цель экструзионного формования – получение на выходе из фильеры качественного экструдата. Применительно к технологии катализаторов и сорбентов это получение изделий требуемой формы без видимых дефектов. Форма катализаторов и сорбентов может быть самой разнообразной, начиная с простого цилиндра и кончая блоками сотовой структуры. Она (форма) определяет геометрию используемой фильеры, которая для сложных форм имеет переходы, например, от канала круглого сечения к каналу прямоугольного сечения.

Успешное формование напрямую связано не только с конструкцией фильеры, но и со свойствами формовочной массы. Поэтому весьма актуальными представляются вопросы, связанные с характеристикой масс, используемых для экструзии [1, 19, 20].

Возможность получения заданной формы экструдата, будет определяться тремя укрупнёнными критериями.

Во-первых, геометрия экструдера. Так, на рисунке 1.1 схематично представлены формы каналов экструдеров для получения продукта различного профиля. Как видно из этого рисунка, для получения цилиндров (простейшая форма гранул) паста, пройдя сечение большого диаметра, через конический переход в конечном итоге приобретает заданную форму в результате истечения

через меньший диаметр фильеры. При экструзии колец на пути течения пасты встречается дополнительное «препятствие» в виде, например, креста (рис. 1.1, б).

Экструзия же блоков сотовой структуры связана с ещё более сложным изменением режима течения. Сначала от одного диаметра к другому, далее разбиение общего потока на множество потоков, а затем переход этих потоков от цилиндрической формы к щелевой при слиянии в монолит (рис. 1.1, в). Таким образом, видно, что процесс течения формовочной массы в экструдере носит весьма сложный характер. Как известно из гидродинамики, изменение сечения канала ведёт к нарушению режима течения жидкости, что проявляется, в частности, в появлении застойных зон, возникновении турбулентности [15]. Эти явления могут существенным образом сказываться на качестве получаемого экструдата [5].

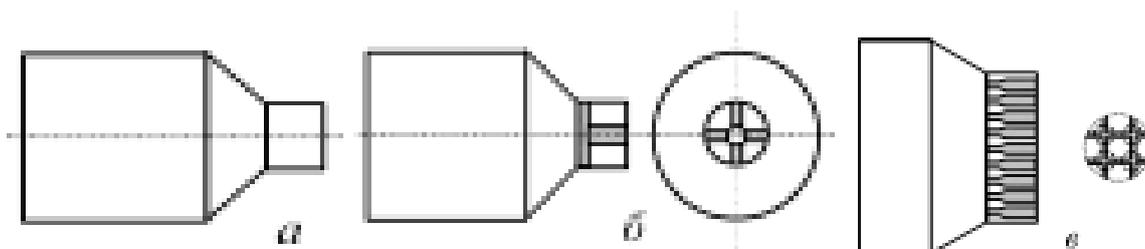


Рис.1.1. Геометрия фильер для экструзии цилиндров (а), колец (б) и блоков сотовой структуры (в).

Второй фактор, влияющий на экструзию, это материал самого экструдера и, в первую очередь, материал фильеры. Влияние этого фактора проявляется через когезионно-адгезионное взаимодействие в системе материал – формовочная масса. Так, в работах [21, 22] это явление оценивалось посредством коэффициента внешнего трения в паре катализаторная масса – конструкционный материал фильеры (на примере ванадиевых сернокислотных катализаторов и алюмооксидной катализаторной массы). На основании этих исследований сделан вывод, что для успешного формования изделий заданной формы когезия пасты к материалу фильеры должна быть минимальна. В работе [23] для устранения нежелательного когезионного взаимодействия при экструзии блоков сотовой структуры, как один из способов, предложено

введение масла в формирующие каналы фильеры.

Наконец, третий фактор, определяющий успех экструзии, физико-химические (в частности, реологические) свойства формовочной массы.

1.7 Сущность экструзионного способа

Экструзия (технологический процесс) – метод и процесс непрерывного выдавливания (шприцевания, шнекования) материала, находящегося в вязкотекучем состоянии, через отверстие определенного профиля. Гранулирование способом экструзии складывается из трех этапов. На первом гранулируемому материалу придают пластичные свойства. Способ пластификации зависит от физико-механических свойств материала. Так к дисперсному материалу добавляется жидкая фаза, и смесь интенсивно обрабатывается в смесителях. Материалы нагреваются до температуры размягчения. На втором этапе пластифицированная масса под давлением продавливается через специальные матрицы, на выходе из которых экструдат режется на отдельные гранулы. Третий этап – доведение гранул до товарной формы, достигается сушкой, прокаливанием или охлаждением гранул [24].

1.7.1 Аппаратурное оформление

Машины для экструзии называют экструдерами, червячными или шнек-машинами. В зависимости от вида изделия экструдеры снабжаются комплектующим оборудованием (экструзионными головками, выдувными, охлаждающими, тянущими, наматывающими и другими устройствами). Соответствующие комплекты оборудования представляют собой экструзионные агрегаты.

Различие свойств термопластов и разнообразие производимых из них изделий требуют создания различных типов экструдеров и комплектующего оборудования. В настоящее время нет единой общепризнанной системы, позволяющей классифицировать экструдеры. Однако выделяются наиболее существенные признаки, которые можно получить в основу подобной классификации. Они определяются конструктивными, технологическими

особенностями, термодинамикой процесса, целевым назначением оборудования, числом червяков и другими отличительными признаками.

Классификация экструдеров в зависимости от назначения.

1. По числу червяков:

- одночервячные;
- многочервячные.

2. По частоте вращения:

- низкоскоростные;
- высокоскоростные;
- высокоскоростные с дозируемой загрузкой.

3. По агрегатному состоянию исходного материала:

- пластицирующие;
- неластицирующие.

3. По конструкции рабочего органа:

- червячные цилиндрические;
- червячные конические;
- дисковые.

4. По положению рабочего органа:

- горизонтальные;
- вертикальные.

5. По назначению прессы:

- общего назначения;
- специального назначения.

1. Червячные экструдеры, которые, в свою очередь, можно разделить на одношнековые, двухшнековые и многошнековые.

Одношнековый (одночервячный) экструдер без зоны дегазации, является наиболее простым оборудованием для экструзии. Они широко применяются для производства пленок, труб, профилей и т.д.

2. Двухшнековые обычно используют для экструзии поливинилхлорида в изделия строительного назначения. Как правило, двухшнековые экструдеры в

обязательном порядке оснащаются устройством дегазации.

3. Многошнековые экструдеры применяются сравнительно редко.

4. Дисковые экструдеры – довольно редкий тип экструзионных машин.

Достоинством экструдеров является высокая производительность, по сравнению с таблеточными машинами. Другим преимуществом экструзии является получение изделий практически любой геометрической формы, например, блочные сотовой структуры с винтовыми каналами [1].

1.8 Классификация методов очистки

Нефтяные масла можно очищать от загрязнений физическими, химическими и физико-химическими методами.

Физические методы позволяют очищать из нефтяных масел твердые частицы, частично-смолистые и коксообразующие вещества и микрокапли воды. К физическим методам относятся очистка масел в силовом поле и фильтрование. Аппаратура, используемая при очистке нефтяных масел указанными методами, по принципу действия и по конструктивным особенностям весьма разнообразна.

Различают следующие типы оборудования (очистители), используемые при очистке нефтяных масел в силовом поле: центробежные (гидроциклоны и центрифуги); гравитационные (непрерывного, полунепрерывного и периодического действия); электрические (высокочастотные и электростатические); магнитные (с электромагнитом и с постоянным магнитом); вибрационные (механические и ультразвуковые); комбинированные.

Фильтрование осуществляют в фильтрах и в фильтрах-сепараторах. К физическим методам можно отнести также обезвоживание нефтяных масел путем испарения эмульгированной воды; для этого масло нагревают или продувают через него горячий воздух. В отличие от способов очистки, при которых на частицы загрязнений действуют различные силы, при

обезвоживании масел путем нагревания процессы основываются на принципах тепло– и массообмена, т. е. являются теплофизическими

Химические методы основаны на взаимодействии веществ, загрязняющих нефтяные масла, и реагентов, вводимых в эти масла. В результате протекающих реакций образуются соединения, легко удаляемые из масла. К химическим методам очистки относятся: кислотная очистка, щелочная очистка, осушка с помощью соединений кальция, осушка и восстановление гидридами металлов. Применение химических методов очистки позволяет удалять из масел асфальто–смолистые, кислотные, некоторые гетероорганические соединения, а также воду.

Физико-химические методы основаны главным образом на использовании коагулянтов и адсорбентов. Применение коагулянтов способствует укрупнению и выпадению в осадок асфальто–смолистых веществ, находящихся в масле в мелкодисперсном состоянии, близком к коллоидному. Адсорбционные методы очистки основаны на способности некоторых веществ избирательно поглощать органические и неорганические соединения, находящиеся в масле. Этими методами из масла можно удалять асфальто–смолистые и кислотные соединения, эмульгированную и растворенную воду.

В производстве нефтяных масел применяют также их обработку растворителями с целью растворения веществ, загрязняющих масло, или углеводородов, его составляющих. В первом случае загрязнения удаляются с растворителем, во втором выпадают в осадок, после чего растворитель отгоняют от масла. Эти операции тоже можно отнести к физико-химическим методам.

В основном из физико-химических методов на практике применяют следующие: коагуляция (неорганическими электролитами, органическими электролитами, неэлектролитами, растворами поверхностно-активных веществ); адсорбция (перколяционное фильтрование, контактная очистка, очистка в движущемся слое адсорбента); ионообменная очистка (статическая и

динамическая); растворение примесей (деасфальтизация пропаном, депарафинизация, селективная очистка, водная промывка) [25].

1.9 Постановка задачи исследования

В данной научно–исследовательской работе необходимо изучить возможность получения сорбента в виде гранул из отходов производства, который в дальнейшем можно использовать для очистки сточных вод от фенолов и нефтепродуктов, а также для регенерации отработанных минеральных масел. Необходимо было решить следующие задачи:

1. Осуществить гранулирование порошкообразных осадков методом экструзии.

2. Выбрать оптимальный режим гранулирования с различными связующими жидкостями: метилцеллюлозой (МЦ), полиакриламидом (ПАА), с жидким стеклом (ЖС), карбоксиметилцеллюлозой (КМЦ) и глиоксалем (ГЛ) с концентрациями от 0,1 до 2 % (мас.).

3. Определить физико-химические и физико-механические свойства полученных гранул: объем пор, прочность на раздавливание.

4. Определить влияние времени выдержки формуемой пасты на свойства гранул.

5. Определить влияние времени концентрации связующего вещества на свойства гранул.

2 МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

2.1 Характеристика объектов исследования

В данной работе объектом исследования является осадок, минерального состава, образующийся после очистки артезианской воды от железа.

Осадок – представляет собой тонкодисперсный порошок красно-коричневого цвета. Предварительными исследованиями было установлено, осадок представлен аморфной формой оксигидрата железа $\text{FeOOH} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (ОГЖ) с примесью карбонатов (4 %).

Метилцеллюлоза (МЦ) $[\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2(\text{OH})_{3-x}(\text{OCH}_3)_x]$ – твердое аморфное бесцветное вещество; температура плавления 220–270°C (с разложением), температура потемнения 190–200°C; плотность 1,290–1,310 г/см³ (при 25 °С), насыпная масса 0,3–0,5 г/см³. Растворима в холодной воде (не выше 50 °С), концентрированной муравьиной и уксусной кислотах, молочной кислоте, горячих гликоле, глицерине, полигликолях и их эфирах; в водных растворах метилцеллюлоза совместима с другими водорастворимыми эфирами целлюлозы, синтетическими и природными полимерами [26].

Карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ) $[(\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2(\text{OH})_{3-x}(\text{OCH}_2\text{COOH})_x)]_n$, где $x = 0,08–1,5$ — слабая бесцветная кислота, производная целлюлозы, в которой карбоксилметильная группа ($-\text{CH}_2-\text{COOH}$) соединяется гидроксильными группами глюкозных мономеров. КМЦ хорошо растворима в воде, не имеет запаха, не подвержена воздействию животных жиров и растительных масел, а также воздействию яркого света, обладает эмульгирующими свойствами, способствует снижению калорийности в продуктах питания [26].

Отличительной особенностью карбоксиметилцеллюлозы является способность к формированию очень вязкого коллоидного раствора, который стабильно сохраняет вязкость в течение длительного времени. По химической природе представляет собой высокополимерный ионный электролит в нейтральном или слабом щелочном эфире целлюлозы [27].

Полиакриламид (ПАА) $[-\text{CH}_2\text{CH}(\text{CONH}_2) -]_n$ – полимер акриламида.

Твердое аморфное белое или частично прозрачное вещество без запаха (молекулярная масса 10^4 - 10^7 (в зависимости от условий получения)); плотность $1,302 \text{ г/см}^3$ (при 23°C). Растворим в воде, морфолине, формамиде, глицерине, этиленгликоле, ледяной уксусной к-те; набухает в диметилсульфоксиде и пропиленгликоле; не растворим в спиртах, кетонах, ДМФА и неполярных растворителях.

Жидкое стекло (ЖС) – водный щелочной раствор силикатов натрия $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$ и (или) калия $\text{K}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$. Жидкое стекло растворимо в воде, вследствие гидролиза этот раствор имеет щелочную реакцию. В зависимости от концентрации водных растворов значение $\text{pH} = 10$ – 13 . Плотность и вязкость растворов жидкого стекла зависят от концентрации раствора, температуры и соотношения кремнекислоты к щелочи. Натриевое жидкое стекло (силикатная глыба) разжижается при температуре 590 – 670° . Отвердевшая плёнка жидкого стекла растворима в воде. При химической реакции жидкого стекла с амфотерной металлической крошкой, базовыми оксидами металлов, алюминатами, цинкатами и плюмбатами образуются труднорастворимые силикаты в смеси с кремниевым гелем. Отвердевшая пленка под воздействием влаги и углекислого газа воздуха теряет свои свойства и образуется белый осадок щелочного карбоната. Растворы жидкого стекла несовместимы с органическими веществами (кроме сахара, алкоголя и мочевины), с жидкими искусственными смолистыми дисперсиями происходит коагуляция, как органической коллоидной системы, так и силикатного раствора. Растворы спиртов, альдегидов, кетонов, аммиака и солевые растворы производят эффект «высаливания».

Глиоксаль – является представителем класса бифункциональных органических соединений – диальдегидов, температура кипения 56°C , для 40% раствора – 107°C . Глиоксаль разлагается при температуре более 150°C , при обезвоживании переходит в димер и тример [2].

Бензол – C_6H_6 , температура плавления – $5,53^\circ\text{C}$, кипения – $80,1^\circ\text{C}$, плотность при 20°C составляет $0,879 \text{ г/см}^3$, практически не растворим в воде,

смешивается с неполярными органическими растворителями. Добавка к моторному топливу для повышения октанового числа [28].

2.2 Методика гранулирования методом экструзии

В навеску исходного материала, в виде сухого порошка массой 2 г, добавляется связующая жидкость от 0,5 до 2 мл, тщательно перемешивается до образования однородной пластичной массы. Полученная масса продавливается через фильеру с диаметром отверстий 3 мм. Полученные черенки нарезаются на гранулы по 5-7 мм.

2.3 Методика определения суммарного объема пор по адсорбции паров бензола

В бюкс с крышкой вводится 0,2–0,5 г гранул, взвешивается на аналитических весах пустой бюкс и с навеской. Затем бюкс без крышки помещается на фарфоровую подставку в эксикатор, нижняя часть которого заполнена бензолом с добавкой 4–5 мл *n*-бутилового спирта.

Повторное взвешивание бюкса производится через 8–24 часов, пока масса не достигнет постоянной величины.

$$\sum V_n = \frac{\Delta G}{b\rho},$$

где ΔG – привес адсорбента за счет поглощения бензола, г;

b – навеска материала, г;

ρ – плотность бензола, при 20 °С, $\rho_B = 0,876$ г/см³;

Размер пор определяется по следующей формуле, в Å :

$$r_{CP} = \frac{2\sum V_n \cdot 10^4}{S_{уд}}$$

где $S_{уд}$ – удельная поверхность гранул, см²/г.

2.4 Методика определения прочности гранул

Прибор МП–9С устанавливается на горизонтальное основание. Калибровка пружины проводится по инструкции, прилагаемой к прибору. При

испытании сферических гранул могут быть использованы сферические столики с площадками, имеющие углубления. Пробы обмеряются штангенциркулем. На столик ставится подготовленная гранула осадка. С помощью подъемного устройства нижний столик подводится к пластине. Производится равномерное нагружение гранулы до разрушения. Скорость разрушения гранул устанавливается в пределах 5 мм/мин. Момент разрушения фиксируется по обратному движению стрелки. Это соответствует образованию первой трещины. Прочность гранул на раздавливание в статических условиях определяется по формуле:

$$P = \frac{N \cdot A}{S}, \text{ мг/мм}^2$$

где N – показания индикатора, мг,

A – калибровочный коэффициент,

S – площадь сечения гранулы, мм².

Для сферических гранул: $S=d \cdot l$,

где d – диаметр гранулы, мм; l – длина гранулы.

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

3.1 Получение гранул с использованием КМЦ в качестве связующей жидкости

К навеске сухого порошка 2 г добавляли карбоксиметилцеллюлозу (от 0,8–1мл) с концентрацией от 0,1–2 %. Полученную пастообразную массу тщательно перемешивали, пропускали через фильеру диаметром 3 мм и высушивали при комнатной температуре от 3 до 12 суток. Полученные гранулы проверяли на прочность (табл. 3.1–3.4)

Таблица 3.1. Прочность гранул от концентрации КМЦ (время выдержки 3сут.)

Связующая жидкость	№ образца	L/d мм	S мм ²	Нагрузка, Н	Прочность, МПа	Прочность средняя, МПа
КМЦ 0,1%	1	7/3	21	0,61	0,2887	0,3126
	2	7/3	21	0,70	0,3270	
	3	7/3	21	0,61	0,2887	
	4	6/3	18	0,61	0,3352	
	5	6,5/3	19,5	0,61	0,3089	
	6	6,5/3	19,5	0,65	0,3270	
КМЦ 0,25%	1	7/3	21	0,62	0,2887	0,3940
	2	5,5/3	16,5	0,70	0,4162	
	3	6,8/3	20,4	0,62	0,2972	
	4	6/3	18	0,86	0,4687	
	5	6/3	18	0,75	0,4087	
	6	5,8/3	17,4	0,86	0,4849	
КМЦ 0,5%	1	6/3	18	0,65	0,3542	0,4148
	2	6/3	18	0,68	0,3706	
	3	5/3	15	0,90	0,5886	
	4	7/3	21	0,82	0,3830	
	5	7/3	21	0,88	0,4110	
	6	6/3	18	0,7	0,3815	
КМЦ 0,75%	1	6/3	18	0,70	0,3815	0,4278
	2	7/3	21	0,70	0,3470	
	3	6/3	18	0,88	0,4796	
	4	9/3	27	1,20	0,4360	
	5	8/3	24	1,08	0,4414	
	6	6/3	18	0,70	0,3815	
КМЦ 1%	1	8/3	24	0,9450	0,3863	0,4291
	2	7/3	21	0,9800	0,4578	
	3	9/3	27	0,9400	0,3415	
	4	8/3	24	1,1	0,4496	
	5	8/3	24	1,17	0,4782	
	6	8/3	24	1,13	0,4612	
КМЦ 2%	1	10/3	30	1,41	0,4610	0,5427
	2	8/3	24	1,37	0,5560	
	3	8/3	24	1,21	0,4946	
	4	8/3	24	1,36	0,5559	
	5	7,5/3	22,5	1,38	0,6	
	6	8/3	24	1,44	0,5856	

По полученным данным построен график зависимости прочности гранул от концентрации КМЦ (рис. 3.1).

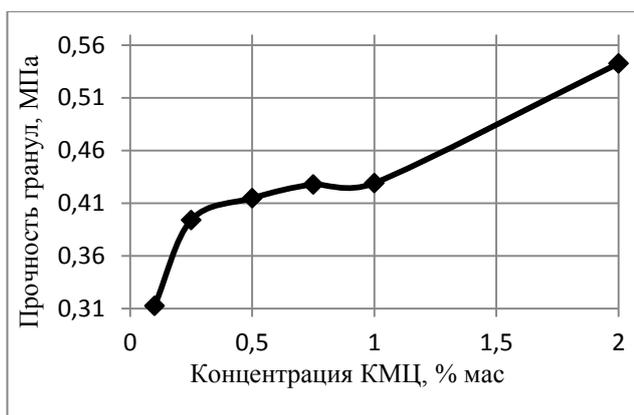


Рис. 3.1. Зависимость прочности гранул от концентрации КМЦ при времени выдержки 3 сут.

Таблица 3.2. Прочность гранул от концентрации КМЦ (время выдержки 5сут.)

Связующая жидкость	№ образца	L/d мм	S мм ²	Нагрузка, Н	Прочность, МПа	Прочность средняя, МПа
КМЦ 0,1%	1	6/3	18	0,71	0,3815	0,3409
	2	7/3	21	0,75	0,3502	
	3	7/3	21	0,82	0,3737	
	4	8/3	24	0,62	0,2514	
	5	6,5/3	19,5	0,78	0,3089	
	6	6,5/3	19,5	0,75	0,3751	
КМЦ 0,25%	1	7/3	21	0,7	0,3456	0,3977
	2	6/3	18	0,81	0,4361	
	3	7/3	21	0,75	0,3505	
	4	8/3	24	0,96	0,3924	
	5	7,5/3	22,5	0,82	0,3488	
	6	5/3	15	0,81	0,5232	
КМЦ 0,5%	1	6/3	18	0,74	0,4033	0,4091
	2	7,5/3	22,5	0,82	0,3488	
	3	6/3	18	0,81	0,4361	
	4	7/3	21	0,82	0,3830	
	5	7/3	21	0,90	0,4211	
	6	6/3	18	0,85	0,4632	
КМЦ 0,75%	1	7/3	21	0,83	0,3877	0,4233
	2	7/3	21	0,94	0,4391	
	3	7/3	21	0,98	0,4578	
	4	8/3	24	0,81	0,3271	
	5	7/3	21	0,89	0,4157	
	6	6/3	18	0,94	0,5123	
КМЦ 1%	1	6/3	18	0,98	0,5341	0,4684
	2	8/3	24	0,82	0,3271	
	3	6/3	18	0,94	0,5123	
	4	7/3	21	1,18	0,5512	
	5	7/3	21	0,82	0,3737	
	6	6/3	18	0,94	0,5123	

КМЦ 2%	1	7/3	21	1,33	0,6213	0,5204
	2	8/3	24	1,15	0,4712	
	3	8/3	24	1,36	0,5559	
	4	8/3	24	1,36	0,5559	
	5	8/3	24	1,3	0,5314	
	6	9/3	27	1,07	0,3888	

По полученным данным построен график зависимости прочности гранул от концентрации КМЦ (рис.3.2).

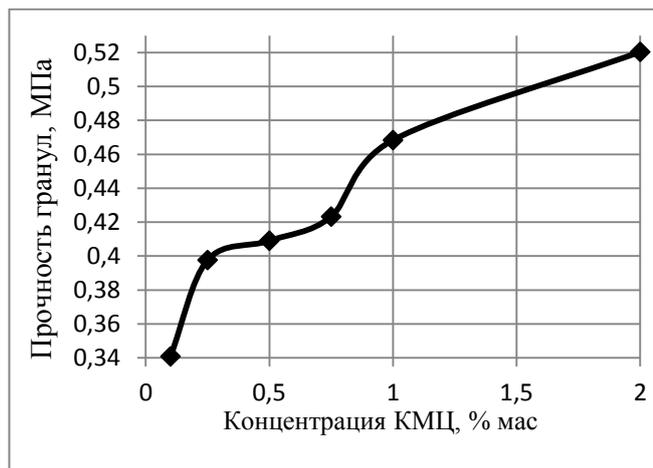


Рис. 3.2. Зависимость прочности гранул от концентрации КМЦ при времени выдержки 5 сут.

Таблица 3.3. Прочность гранул от концентрации КМЦ (время выдержки 7сут.)

Связующая жидкость	№ образца	L/d мм	S мм ²	Нагрузка, Н	Прочность, МПа	Прочность средняя, МПа
КМЦ 0,1%	1	6/3	18	0,88	0,4796	0,3567
	2	6/3	18	0,73	0,1989	
	3	5/3	15	0,71	0,4578	
	4	9/3	27	0,78	0,2834	
	5	6/3	18	0,74	0,4033	
	6	7/3	21	0,68	0,3176	
КМЦ 0,25%	1	4/3	12	0,65	0,5314	0,4072
	2	7/3	21	0,62	0,2812	
	3	7/3	21	0,75	0,3541	
	4	6/3	18	0,6	0,3271	
	5	5/3	15	0,7	0,4578	
	6	5/3	15	0,76	0,4971	
КМЦ 0,5%	1	5/3	15	0,61	0,3924	0,4152
	2	7/3	21	0,75	0,3512	
	3	6/3	18	0,61	0,3271	
	4	7/3	21	0,85	0,3971	
	5	6/3	18	0,82	0,4362	
	6	5/3	15	0,91	0,5886	

КМЦ 0,75%	1	6/3	18	0,83	0,4523	0,4228
	2	5/3	15	0,75	0,4905	
	3	6/3	18	0,81	0,4361	
	4	8/3	24	0,86	0,3515	
	5	6/3	18	0,62	0,3276	
	6	7/3	21	0,91	0,4212	
КМЦ 1%	1	7/3	21	1,06	0,4951	0,4664
	2	7/3	21	0,98	0,4578	
	3	9/3	27	1,12	0,4069	
	4	7/3	21	0,95	0,4437	
	5	7/3	21	1,31	0,6119	
	6	7/3	21	0,82	0,3830	
КМЦ 2%	1	8/3	24	1,1	0,4496	0,5624
	2	7/3	21	1,3	0,6014	
	3	7/3	21	1,15	0,5372	
	4	7/3	21	1,41	0,6541	
	5	8/3	24	1	0,4087	
	6	6/3	18	1,33	0,7248	

По полученным данным построен график зависимости прочности гранул от концентрации КМЦ (рис.3.3).

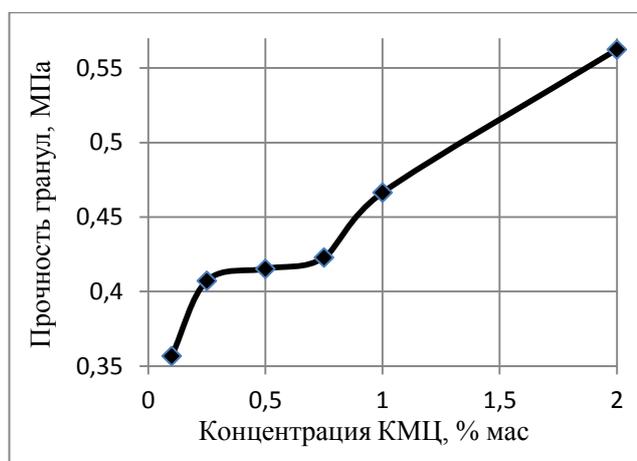


Рис. 3.3. Зависимость прочности гранул от концентрации КМЦ при времени выдержки 7 сут.

Таблица 3.4. Прочность гранул от концентрации КМЦ (время выдержки 12сут.)

Связующая жидкость	№ образца	L/d мм	S мм ²	Нагрузка, Н	Прочность, МПа	Прочность средняя, МПа
КМЦ 0,1%	1	6/3	18	0,72	0,3815	0,3605
	2	6/3	18	0,52	0,2725	
	3	6/3	18	0,78	0,4251	
	4	7/3	21	0,83	0,3737	
	5	7/3	21	0,82	0,3737	
	6	6/3	18	0,72	0,3815	

КМЦ 0,25%	1	6/3	18	0,83	0,4361	0,4227
	2	7/3	21	0,78	0,3644	
	3	5/3	15	0,65	0,4251	
	4	7/3	21	0,71	0,3271	
	5	5/3	15	0,65	0,4251	
	6	5/3	15	0,73	0,4578	
КМЦ 0,5%	1	7/3	21	0,72	0,3271	0,4683
	2	7/3	21	0,81	0,3737	
	3	5/3	15	0,95	0,6213	
	4	7/3	21	0,85	0,3971	
	5	7/3	21	0,72	0,3272	
	6	5/3	15	0,75	0,4905	
КМЦ 0,75%	1	9/3	27	0,95	0,4671	0,5103
	2	7/3	21	1,15	0,4201	
	3	9/3	27	0,85	0,5108	
	4	7/3	21	1,21	0,7194	
	5	7/3	21	1,12	0,3562	
	6	6/3	18	1,2	0,6213	
КМЦ 1%	1	7/3	21	1	0,4671	0,5152
	2	7/3	21	0,9	0,4201	
	3	7/3	21	1,1	0,5138	
	4	5/3	15	1,12	0,7194	
	5	7/3	21	0,75	0,35	
	6	5/3	15	0,95	0,6213	
КМЦ 2%	1	7/3	21	1,4	0,4496	0,5751
	2	8/3	24	1,30,9	0,6014	
	3	7/3	21	01	0,5372	
	4	6/3	18	1,3	0,6541	
	5	7/3	21	1,3	00,4087	
	6	8/3	24		0,7248	

По полученным данным построен график зависимости прочности гранул от концентрации КМЦ (рис.3.4).

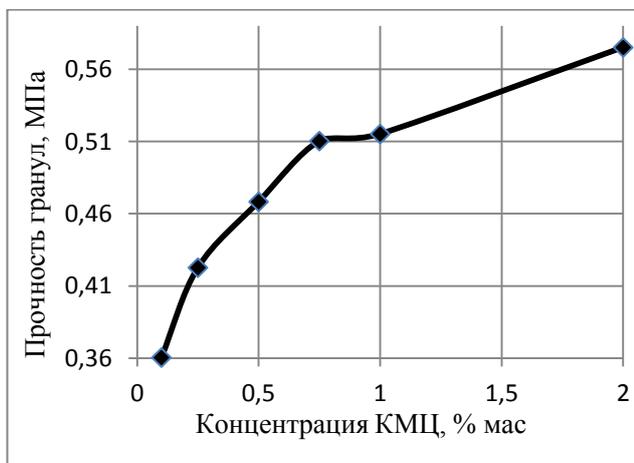


Рис. 3.4. Зависимость прочности гранул от концентрации КМЦ при времени выдержки 12 сут. Для полученных гранул был определен суммарный объем пор. Полученные

данные сведены в таблицу 3.5, по которой построен график зависимости суммарного объема пор от концентрации КМЦ (рис. 3.5).

Таблица 3.5 Суммарный объем пор гранул от концентрации КМЦ

Концентрация	Масса бюкса с крышкой, г	Масса бюкса с крышкой+ проба, г	Масса пробы, г	Масса после адсорбции,г	Масса бензола, г	Суммарный объем пор, см ³ /г	Средний объем пор, см ³ /г
КМЦ 0,1%	15,0536	15,1932	0,1396	15,2146	0,0214	0,175	0,1657
КМЦ 0,1%	12,8622	13,0016	0,1394	13,0207	0,0191	0,1564	
КМЦ 0,25%	14,4571	14,5917	0,1343	14,6103	0,0186	0,1581	0,1716
КМЦ 0,25%	14,5380	14,6755	0,1375	14,6978	0,0223	0,1851	
КМЦ 0,5%	12,2081	12,3302	0,1221	12,3453	0,0151	0,1412	0,1825
КМЦ 0,5%	13,8450	13,9669	0,1219	13,9908	0,0239	0,2238	
КМЦ 0,75%	14,0018	14,1456	0,1438	14,1680	0,0224	0,1778	0,1842
КМЦ 0,75%	14,7105	14,8562	0,1457	14,8805	0,0243	0,1904	
КМЦ 1%	15,3986	15,5370	0,1384	15,5668	0,0298	0,2458	0,2788
КМЦ 1%	14,4615	14,6152	0,1537	14,6572	0,042	0,3119	
КМЦ 2%	13,6244	13,7977	0,1733	13,8519	0,0542	0,357	0,2862
КМЦ 2%	14,1634	14,3218	0,1584	14,3517	0,0299	0,2155	

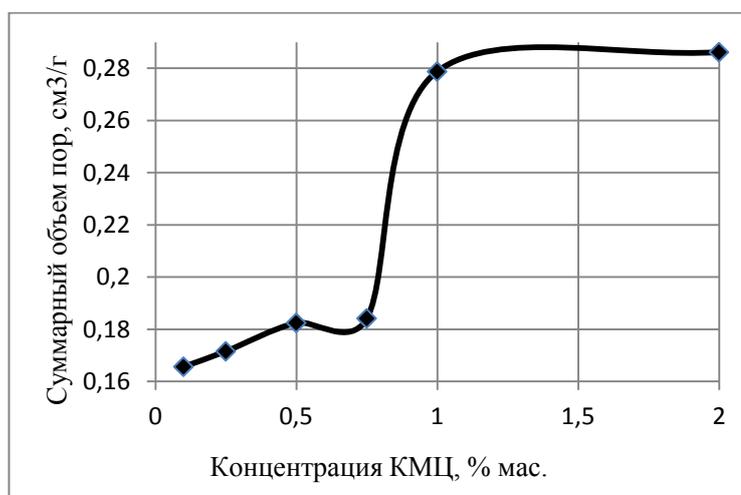


Рис.3.5 Зависимость суммарного объема пор от концентрации КМЦ

Как видно из рис. 3.5 при увеличении концентрации КМЦ суммарный объем увеличивается. При концентрации 0,1–0,75 % суммарный объем

практически не меняется, однако дальнейшее повышение концентрации связующей жидкости приводит к увеличению объема пор на 60 %.

3.2 Получение гранул с использованием глиоксаля в качестве связующей жидкости

К навеске сухого порошка 2 г добавляли от 1–1,2 мл глиоксаля концентрацией 0,1–2 %. Полученную пастообразную массу тщательно перемешивали, пропускали через фильеру диаметром 3 мм и высушивали при комнатной температуре от 1 до 12 суток. Полученные гранулы проверяли на прочность (табл. 3.6–3.11).

Таблица 3.6. Прочность гранул от концентрации глиоксаля (время выдержки 1сут.)

Связующая жидкость	№ образца	L/d мм	S мм ²	Нагрузка, Н	Прочность, МПа	Прочность средняя, МПа
ГЛ 0,1%	1	8/3	24	0,75	0,3474	0,3727
	2	7/3	21	0,82	0,3737	
	3	7/3	21	0,85	0,3971	
ГЛ 0,25%	1	6/3	18	0,55	0,2997	0,3746
	2	8/3	24	0,75	0,3065	
	3	8/3	24	0,95	0,5177	
ГЛ 0,5%	1	7/3	21	0,72	0,3271	0,3969
	2	6/3	18	0,85	0,4632	
	3	8/3	24	0,98	0,4006	
ГЛ 0,75%	1	7/3	21	0,95	0,4438	0,3815
	2	6/3	18	0,62	0,3271	
	3	7/3	21	0,81	0,3737	
ГЛ 1%	1	6/3	18	0,65	0,3542	0,3901
	2	7/3	21	0,71	0,3271	
	3	5/3	15	0,75	0,4905	
ГЛ 2%	1	7/3	21	0,91	0,4204	0,4081
	2	6/3	18	0,82	0,4361	
	3	8/3	24	0,91	0,3679	

По табл.3.6 построили график зависимости прочности гранул от концентрации глиоксаля (рис. 3.6).

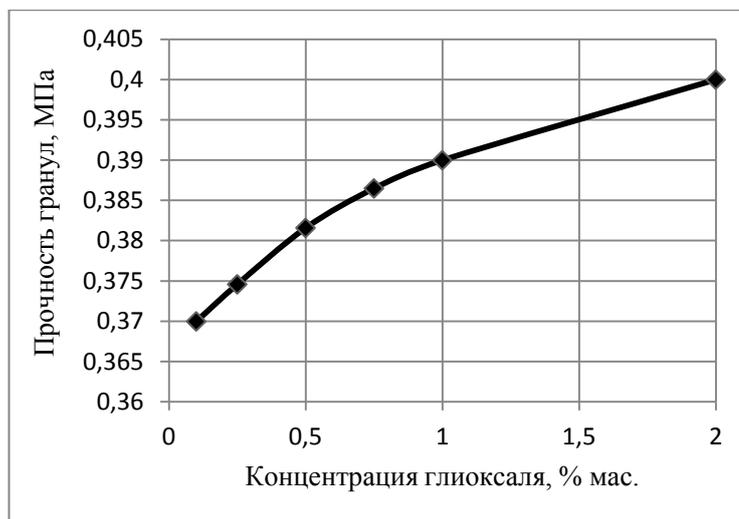


Рис. 3.6. Зависимость прочности гранул от концентрации глиоксаля, время выдержки 1 сут.

Таблица 3.7. Прочность гранул от концентрации глиоксаля (время выдержки 2сут.)

Связующая жидкость	№ образца	L/d мм	S мм ²	Нагрузка, Н	Прочность, МПа	Прочность средняя, МПа
ГЛ 0,1%	1	7/3	21	0,71	0,3271	0,3656
	2	7/3	21	0,95	0,4206	
	3	7/3	21	0,62	0,3509	
ГЛ 0,25%	1	6/3	18	0,65	0,3271	0,3833
	2	6/3	18	0,85	0,4632	
	3	8/3	24	0,85	0,3597	
ГЛ 0,5%	1	6/3	18	0,72	0,3815	0,3887
	2	5/3	15	0,71	0,4578	
	3	7/3	21	0,73	0,3271	
ГЛ 0,75%	1	7/3	21	0,91	0,4204	0,3955
	2	5/3	15	0,62	0,3924	
	3	7/3	21	0,81	0,3737	
ГЛ 1%	1	5/3	15	0,73	0,4578	0,3887
	2	6/3	18	0,71	0,3815	
	3	7/3	21	0,72	0,3271	
ГЛ 2%	1	7/3	21	0,91	0,4201	0,4046
	2	7/3	21	0,85	0,3971	
	3	7/3	21	0,85	0,3971	

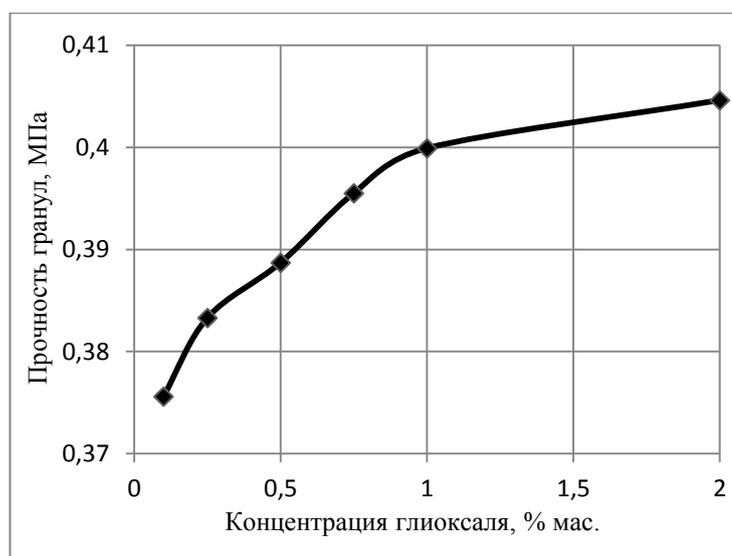


Рис. 3.7. Зависимость прочности гранул от концентрации глиоксаля, время выдержки 2 сут.

Таблица 3.8. Прочность гранул от концентрации глиоксаля (время выдержки 3сут.)

Связующая жидкость	№ образца	L/d мм	S мм ²	Нагрузка, Н	Прочность, МПа	Прочность средняя, МПа
ГЛ 0,1%	1	6/3	18	0,81	0,4361	0,3789
	2	8/3	24	0,82	0,3271	
	3	7/3	21	0,81	0,3737	
ГЛ 0,25%	1	7/3	21	0,81	0,3971	0,4048
	2	8/3	24	0,82	0,3272	
	3	6/3	18	0,91	0,4905	
ГЛ 0,5%	1	8/3	24	1	0,4087	0,4139
	2	7/3	21	0,85	0,3971	
	3	6/3	18	0,81	0,4362	
ГЛ 0,75%	1	7/3	21	0,75	0,3501	0,4391
	2	5/3	15	0,82	0,5232	
	3	7/3	21	0,95	0,4438	
ГЛ 1%	1	7/3	21	0,85	0,3971	0,4411
	2	6/3	18	0,82	0,4362	
	3	6/3	18	0,91	0,4905	
ГЛ 2%	1	6/3	18	0,95	0,5177	0,4528
	2	7/3	21	0,85	0,3971	
	3	7/3	21	0,95	0,4438	

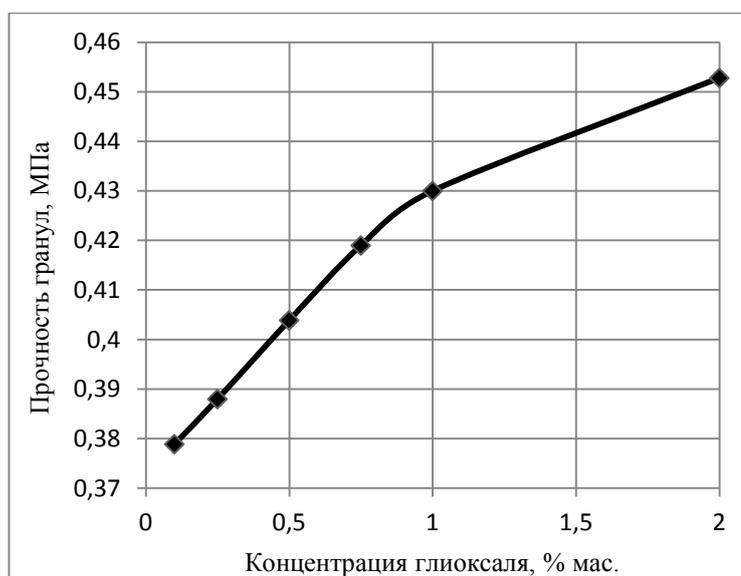


Рис. 3.8. Зависимость прочности гранул от концентрации глиоксаля, время выдержки 3 сут.

Таблица 3.9. Прочность гранул от концентрации глиоксаля (время выдержки 5сут)

Связующая жидкость	№ образца	L/d мм	S мм ²	Нагрузка, Н	Прочность, МПа	Прочность средняя, МПа
ГЛ 0,1%	1	7/3	21	0,85	0,3971	0,3776
	2	9/3	27	1,35	0,4905	
	3	8/3	24	0,62	0,2452	
ГЛ 0,25%	1	7/3	21	0,71	0,3271	0,3961
	2	7/3	21	0,95	0,4414	
	3	7/3	21	0,92	0,4202	
ГЛ 0,5%	1	7/3	21	1,1	0,5138	0,4602
	2	8/3	24	1,15	0,4702	
	3	7/3	21	0,85	0,3971	
ГЛ 0,75%	1	6/3	18	0,72	0,3815	0,5024
	2	7/3	21	1,15	0,5372	
	3	5/3	15	0,91	0,5886	
ГЛ 1%	1	8/3	24	0,91	0,3679	0,4678
	2	6/3	18	0,85	0,4632	
	3	4/3	12	0,73	0,5722	
ГЛ 2%	1	6/3	18	0,91	0,4905	0,5668
	2	6/3	18	1,2	0,6541	
	3	5/3	15	0,85	0,5559	

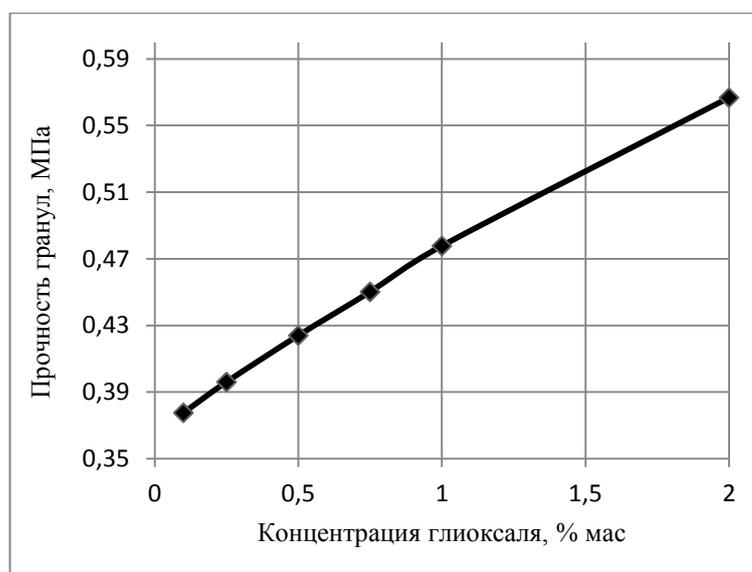


Рис. 3.9. Зависимость прочности гранул от концентрации глиоксаля, время выдержки 5 сут.

Таблица 3.10. Прочность гранул от концентрации глиоксаля (время выдержки 7сут.)

Связующая жидкость	№ образца	L/d мм	S мм ²	Нагрузка, Н	Прочность, МПа	Прочность средняя, МПа
ГЛ 0,1%	1	6/3	18	0,81	0,4361	0,3865
	2	7/3	21	0,75	0,3501	
	3	7/3	21	0,82	0,3737	
ГЛ 0,25%	1	7/3	21	0,91	0,4202	0,4079
	2	8/3	24	0,92	0,3679	
	3	6/3	18	0,8	0,4361	
ГЛ 0,5%	1	7/3	21	0,91	0,4202	0,4211
	2	8/3	24	1,15	0,4703	
	3	7/3	21	0,81	0,3737	
ГЛ 0,75%	1	8/3	24	0,91	0,3678	0,3996
	2	6/3	18	0,85	0,4632	
	3	8/3	24	0,91	0,3679	
ГЛ 1%	1	6/3	18	0,75	0,4087	0,4736
	2	7/3	21	1	0,4671	
	3	6/3	18	1	0,5451	
ГЛ 2%	1	6/3	18	0,95	0,4632	0,5141
	2	5/3	15	0,91	0,5886	
	3	8/3	24	1,2	0,4905	

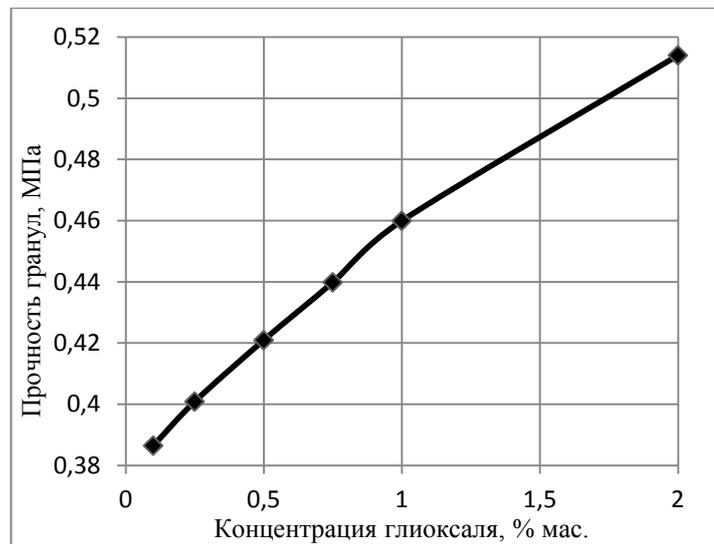


Рис. 3.10. Зависимость прочности гранул от концентрации глиоксаля , время выдержки 7 сут.

Таблица 3.11. Прочность гранул от концентрации глиоксаля (время выдержки 12сут)

Связующая жидкость	№ образца	L/d мм	S мм ²	Нагрузка, Н	Прочность, МПа	Прочность средняя, МПа
ГЛ 0,1%	1	7/3	21	0,85	0,3971	0,3661
	2	6/3	18	0,65	0,3542	
	3	5/3	15	0,55	0,3597	
	4	5/3	15	0,51	0,3271	
	5	6/3	18	0,75	0,4087	
	6	7/3	21	0,75	0,3502	
ГЛ 0,25%	1	6/3	18	0,71	0,3815	0,4079
	2	3/3	9	0,55	0,5995	
	3	8/3	24	0,52	0,2041	
	4	3/3	9	0,51	0,5451	
	5	7/3	21	0,75	0,3501	
	6	4/3	12	0,45	0,3678	
ГЛ 0,5%	1	6/3	18	0,65	0,3542	0,4109
	2	6/3	18	0,85	0,4632	
	3	6/3	18	0,65	0,3542	
	4	4/3	12	0,61	0,4905	
	5	6/3	18	0,65	0,3542	
	6	4/3	12	0,55	0,4496	
ГЛ 0,75%	1	8/3	24	0,65	0,2657	0,4257
	2	4/3	12	0,61	0,4905	
	3	4/3	12	0,52	0,4087	
	4	4/3	12	0,55	0,4496	
	5	5/3	15	0,75	0,4905	
	6	4/3	12	0,55	0,4496	
ГЛ 1%	1	5/3	15	0,65	0,4251	0,4398
	2	6/3	18	0,95	0,5177	
	3	5/3	15	0,62	0,3924	
	4	5/3	15	0,65	0,4251	
	5	8/3	24	0,85	0,3474	
	6	4/3	12	0,65	0,5314	

ГЛ 2%	1	7/3	21	0,65	0,3036	0,5034
	2	4/3	12	0,75	0,6131	
	3	3/3	9	0,55	0,5995	
	4	5/3	15	0,71	0,4378	
	5	5/3	15	0,62	0,3924	
	6	3/3	9	0,63	0,6541	



Рис. 3.11. Зависимость прочности гранул от концентрации глиоксала, время выдержки 12 сут.

Для полученных гранул со связующей жидкостью глиоксалем был определен суммарный объем пор. Полученные опытные данные сведены в табл. 3.12.

Таблица 3.12 Суммарный объем пор гранул от концентрации глиоксала

Концентрация глиоксала	Масса бюкса с крышкой, г	Масса бюкса с крышкой+ проба, г	Масса пробы, г	Масса после адсорбции, г	Масса бензола, г	Суммарный объем пор, см ³ /г	Средний объем пор, см ³ /г
0,1%	13,1991	13,3325	0,1334	13,3081	0,0109	0,093	0,1023
0,1%	14,3049	14,4156	0,1107	14,4264	0,0108	0,1114	
0,25%	14,1629	14,2921	0,1292	14,3037	0,0116	0,102	0,097
0,25%	14,9143	15,0608	0,1465	15,0727	0,0119	0,093	
0,5%	15,1351	15,2866	0,1515	15,3016	0,015	0,113	0,109
0,5%	14,0023	14,1406	0,1383	14,1533	0,0127	0,105	
0,75%	14,5011	14,6524	0,1513	14,6679	0,0155	0,117	0,133
0,75%	15,3032	15,4285	0,1253	15,4449	0,0164	0,149	
1%	14,3239	14,4548	0,1309	14,4752	0,0204	0,178	0,1935
1%	12,8432	12,9938	0,1506	13,0214	0,0276	0,209	
2%	14,7015	14,8447	0,1432	14,8797	0,035	0,279	0,223
2%	14,175	14,3332	0,1582	14,3534	0,0232	0,167	

По полученным данным построен график зависимости суммарного объема пор от концентрации глиоксала (рис.3.12).

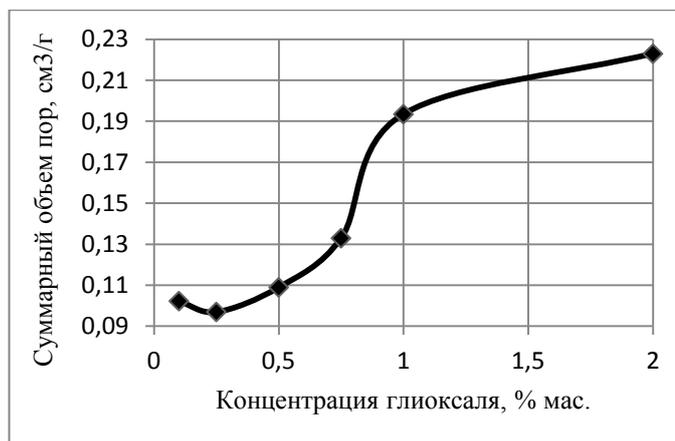


Рис.3.12 Зависимость суммарного объема пор гранул от концентрации глиоксаля

Как видно из рис.3.12 с увеличением концентрации глиоксаля суммарный объем пор увеличивается.

3.3 Получение гранул с использованием МЦ в качестве связующей жидкости

К навеске сухого порошка 2 г добавляли метилцеллюлозу (от 1–1,2 мл) с концентрацией от 0,1–2 %. Полученную пастообразную массу тщательно перемешивали, пропускали через фильеру диаметром 3 мм и высушивали при комнатной температуре от 1 до 12 суток. Полученные гранулы проверяли на прочность (табл. 3.13–3.18) .

Таблица 3.13. Прочность гранул от концентрации МЦ (время выдержки 1сут.)

Связующая жидкость	№ образца	L/d мм	S мм ²	Нагрузка, Н	Прочность, МПа	Прочность средняя, МПа
МЦ 0,1%	1	7/3	21	0,6	0,2802	0,2979
	2	7/3	21	0,65	0,3036	
	3	7/3	21	0,59	0,2756	
	4	6/3	18	0,61	0,3324	
МЦ 0,25%	1	7/3	21	0,62	0,2896	0,3425
	2	5,5/3	16,5	0,65	0,3864	
	3	6,8/3	20,4	0,65	0,3125	
	4	6/3	18	0,7	0,3815	
МЦ 0,5%	1	6/3	18	0,65	0,3542	0,3703
	2	6/3	18	0,68	0,3706	
	3	7/3	21	0,8	0,3737	
	4	7/3	21	0,82	0,3830	
МЦ 1%	1	8/3	24	0,95	0,3883	0,3713
	2	7/3	21	0,8	0,3737	
	3	9/3	27	0,9	0,327	
	4	8/3	24	0,97	0,3964	

МЦ 2%	1	7/3	30	1,05	0,3433	0,376
	2	8/3	24	1	0,4087	
	3	6/3	24	0,89	0,3637	
	4	8/3	24	0,95	0,3883	

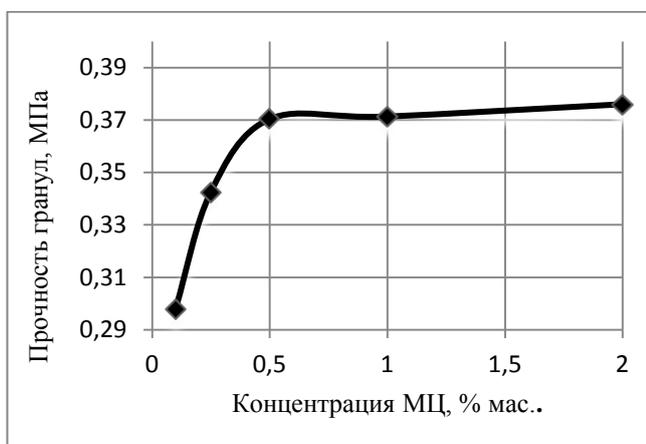


Рис. 3.13. Зависимость прочности гранул от концентрации МЦ, время выдержки 1сут.

Таблица 3.14. Прочность гранул от концентрации МЦ (время выдержки 2 сут.)

Связующая жидкость	№ образца	L/d мм	S мм ²	Нагрузка, Н	Прочность, МПа	Прочность средняя, МПа
МЦ 0,1%	1	7/3	21	0,65	0,3036	0,3256
	2	7/3	21	0,7	0,327	
	3	7/3	21	0,68	0,3176	
	4	6/3	18	0,65	0,3542	
МЦ 0,25%	1	7/3	21	0,68	0,3176	0,3623
	2	5,5/3	16,5	0,65	0,3864	
	3	6,8/3	20,4	0,7	0,3366	
	4	6/3	18	0,75	0,4087	
МЦ 0,5%	1	6/3	18	0,7	0,3815	0,3853
	2	6/3	18	0,68	0,3706	
	3	5/3	15	0,6	0,3924	
	4	7/3	21	0,85	0,3970	
МЦ 1%	1	8/3	24	0,98	0,4005	0,3933
	2	7/3	21	0,9	0,4204	
	3	9/3	27	0,98	0,3560	
	4	8/3	24	0,97	0,3964	
МЦ 2%	1	7/3	30	1,05	0,3433	0,4373
	2	8/3	24	1,05	0,4291	
	3	5/3	15	0,9	0,5886	
	4	8/3	24	0,95	0,3883	

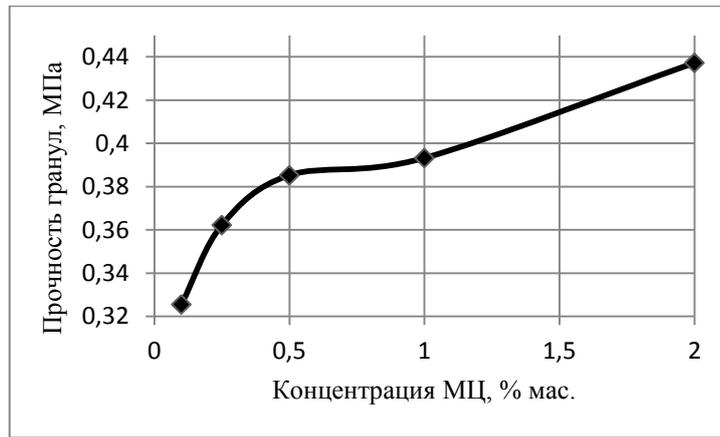


Рис. 3.14. Зависимость прочности гранул от концентрации МЦ, время выдержки 2сут.

Таблица 3.15. Прочность гранул от концентрации МЦ (время выдержки 3 сут.)

Связующая жидкость	№ образца	L/d мм	S мм ²	Нагрузка, Н	Прочность, МПа	Прочность средняя, МПа
МЦ 0,1%	1	7/3	21	0,7	0,327	0,3464
	2	7/3	21	0,75	0,3503	
	3	7/3	21	0,7	0,327	
	4	6/3	18	0,7	0,3815	
МЦ 0,25%	1	7/3	21	0,74	0,3456	0,3896
	2	5,5/3	16,5	0,75	0,4459	
	3	6,8/3	20,4	0,7	0,3366	
	4	6/3	18	0,79	0,4305	
МЦ 0,5%	1	6/3	18	0,8	0,436	0,4155
	2	7/3	21	0,85	0,3970	
	3	6/3	18	0,75	0,4087	
	4	7/3	21	0,9	0,4204	
МЦ 1%	1	8/3	24	1	0,4087	0,4167
	2	7/3	21	0,9	0,4204	
	3	8/3	24	1,05	0,4291	
	4	8/3	24	1	0,4087	
МЦ 2%	1	7/3	21	1,05	0,4905	0,4444
	2	8/3	24	1,05	0,4291	
	3	6/3	24	1	0,4087	
	4	8/3	24	1,1	0,4496	

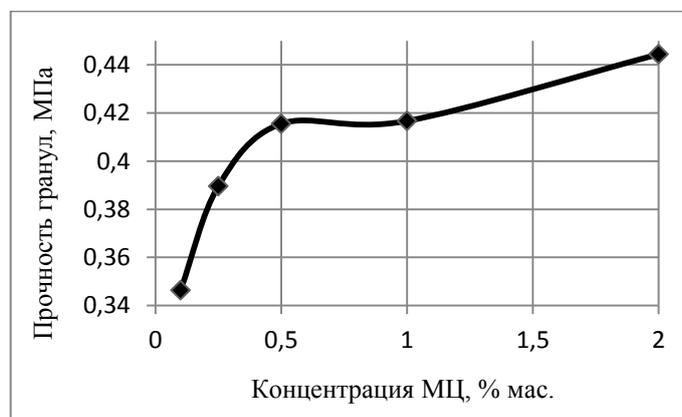


Рис. 3.15. Зависимость прочности гранул от концентрации МЦ, время выдержки 3сут.

Таблица 3.16. Прочность гранул от концентрации МЦ (время выдержки 5сут.)

Связующая жидкость	№ образца	L/d мм	S мм ²	Нагрузка, Н	Прочность, МПа	Прочность средняя, МПа
МЦ 0,1%	1	7/3	21	0,8	0,3737	0,4019
	2	7/3	21	0,85	0,3970	
	3	7/3	21	0,8	0,3737	
	4	6/3	18	0,85	0,4632	
МЦ 0,25%	1	7/3	21	0,84	0,3924	0,4311
	2	6/3	18	0,8	0,436	
	3	6,8/3	20,4	0,9	0,4328	
	4	6/3	18	0,85	0,4632	
МЦ 0,5%	1	7/3	21	0,9	0,4204	0,4400
	2	6/3	18	0,98	0,5341	
	3	8/3	24	0,9	0,3478	
	4	7/3	21	0,98	0,4578	
МЦ 1%	1	8/3	24	1,05	0,4292	0,4384
	2	7/3	21	1,1	0,5138	
	3	9/3	27	1,05	0,3815	
	4	8/3	24	1,05	0,4292	
МЦ 2%	1	7/3	21	1,1	0,5138	0,4431
	2	8/3	24	1,15	0,3760	
	3	6/3	24	1,05	0,4292	
	4	8/3	24	1,11	0,4537	



Рис. 3.16. Зависимость прочности гранул от концентрации МЦ, время выдержки 5сут.

Таблица 3.17. Прочность гранул от концентрации МЦ (время выдержки 7сут.)

Связующая жидкость	№ образца	L/d мм	S мм ²	Нагрузка, Н	Прочность, МПа	Прочность средняя, МПа
МЦ 0,1%	1	7/3	21	0,85	0,3970	0,4096
	2	8/3	24	0,9	0,327	
	3	7/3	21	0,85	0,3970	
	4	6/3	18	0,95	0,5177	
МЦ 0,25%	1	7/3	21	0,9	0,4204	0,4204
	2	7/3	21	0,9	0,4204	
	3	7/3	21	0,9	0,4204	
	4	7/3	18	0,9	0,4204	

МЦ 0,5%	1	7/3	21	0,95	0,4437	0,4371
	2	8/3	24	1,05	0,4291	
	3	7/3	21	1	0,4671	
	4	8/3	24	1	0,4087	
МЦ 1%	1	8/3	24	1	0,4087	0,4488
	2	7/3	21	1	0,4671	
	3	9/3	27	1,05	0,4292	
	4	8/3	24	1,2	0,4905	
МЦ 2%	1	8/3	24	1,2	0,4905	0,4496
	2	8/3	24	1	0,4087	
	3	8/3	21	1,2	0,4905	
	4	8/3	24	1	0,4087	

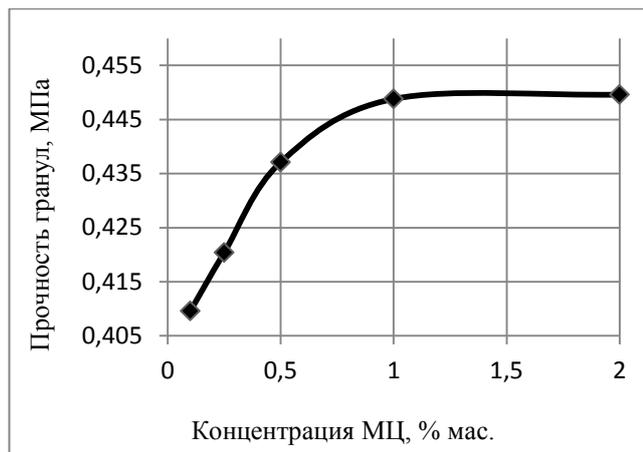


Рис. 3.17. Зависимость прочности гранул от концентрации МЦ, время выдержки 7сут.

Таблица 3.18. Прочность гранул от концентрации МЦ (время выдержки 12сут.)

Связующая жидкость	№ образца	L/d мм	S мм ²	Нагрузка, Н	Прочность, МПа	Прочность средняя, МПа
МЦ 0,1%	1	7/3	21	0,9	0,4204	0,4320
	2	7/3	21	0,9	0,4204	
	3	7/3	21	0,9	0,4204	
	4	7/3	21	1	0,4671	
МЦ 0,25%	1	7/3	21	0,9	0,4204	0,4369
	2	6/3	18	0,85	0,4632	
	3	8/3	24	1,2	0,4905	
	4	7/3	21	0,85	0,3737	
МЦ 0,5%	1	6/3	18	0,85	0,4632	0,4567
	2	8/3	24	1,05	0,4291	
	3	7/3	21	1	0,4671	
	4	7/3	21	1	0,4671	
МЦ 1%	1	8/3	24	1	0,4087	0,4771
	2	7/3	21	1,3	0,6073	
	3	9/3	27	1,05	0,3815	
	4	8/3	24	1,25	0,5109	
МЦ 2%	1	9/3	27	1,35	0,4905	0,5031
	2	8/3	24	1,38	0,5640	
	3	9/3	27	1,4	0,5086	
	4	8/3	24	1,1	0,4496	

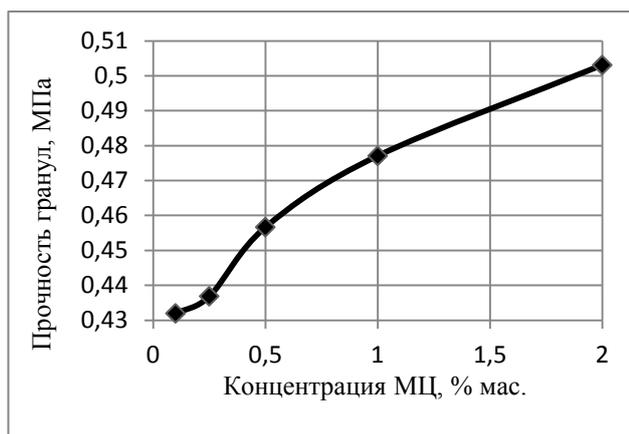


Рис. 3.18. Зависимость прочности гранул от концентрации МЦ, время выдержки 12сут.

Для полученных гранул со связующей жидкостью метилцеллюлоза был определен суммарный объем пор. Полученные опытные данные сведены в табл.3.19 и представлены на рис. 3.19.

Таблица 3.19 Суммарный объем пор гранул от концентрации МЦ

Концентрация	Масса бюкса с крышкой, грамм	Масса бюкса с крышкой+ проба, г	Масса пробы, г	Масса после адсорбции,гг	Масса бензола, г	Суммарный объем пор, см ³ /г	Средний объем пор, см ³ /г
МЦ 0,1%	14,0018	14,1456	0,1221	14,1780	0,0151	0,1411	0,1443
МЦ 0,1%	14,1221	14,2660	0,1439	14,3032	0,0186	0,1475	
МЦ 0,25%	14,0081	14,1301	0,1220	14,1456	0,0155	0,145	0,1662
МЦ 0,25%	14,2550	14,3962	0,1412	14,4194	0,0232	0,1875	
МЦ 0,5%	15,0041	15,1437	0,1396	15,1657	0,0220	0,1799	0,1751
МЦ 0,5%	14,8422	14,9862	0,1440	15,0077	0,0215	0,1704	
МЦ 1%	14,2350	14,3745	0,1395	14,397	0,0225	0,1841	0,1898
МЦ 1%	14,0450	14,167	0,1220	14,1909	0,0239	0,1955	
МЦ 2%	12,2560	12,414	0,1580	12,442	0,0280	0,2023	0,1911
МЦ 2%	14,1650	14,333	0,1680	14,3595	0,0265	0,18	

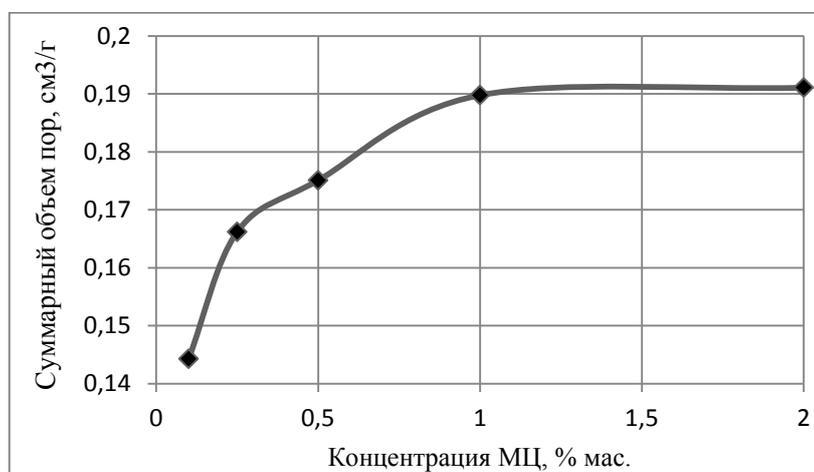


Рис. 3.19. Зависимость суммарного объема пор от концентрации метилцеллюлозы.

3.4 Получение гранул с использованием ПАА в качестве связующей жидкости

Навеску осадка массой 2 г гранулировали в соответствии с методикой 2.2. В качестве связующей жидкости использовали полиакриламид (ПАА), концентрация которой варьировалась от 0,1 до 2 % (мас.). Полученные гранулы были исследованы в соответствии с методикой 2.4 на прочность (табл. 3.20–3.26).
Таблица 3.20. Прочность гранул от концентрации ПАА (время выдержки 1 сут.)

Связующая жидкость	№ образца	L/d мм	S мм ²	Нагрузка, Н	Прочность, МПа	Прочность средняя, МПа
ПАА 0,1%	1	7/3	21	0,25	0,1167	0,1243
	2	7/3	21	0,25	0,1167	
	3	7/3	21	0,25	0,1167	
	4	6/3	18	0,27	0,1471	
ПАА 0,25%	1	7/3	21	0,3	0,1401	0,1553
	2	5,5/3	16,5	0,3	0,1783	
	3	6,8/3	20,4	0,29	0,1394	
	4	6/3	18	0,3	0,1635	
ПАА 0,5%	1	6/3	18	0,32	0,1744	0,1778
	2	6/3	18	0,32	0,1744	
	3	5/3	15	0,34	0,2223	
	4	7/3	21	0,3	0,1401	
ПАА 1%	1	8/3	24	0,54	0,2207	0,2199
	2	7/3	21	0,55	0,2569	
	3	9/3	27	0,5	0,1816	
	4	8/3	24	0,54	0,2207	
ПАА 2%	1	7/3	30	1	0,327	0,3841
	2	8/3	24	0,98	0,4005	
	3	6/3	24	1	0,4087	
	4	8/3	24	0,98	0,4005	

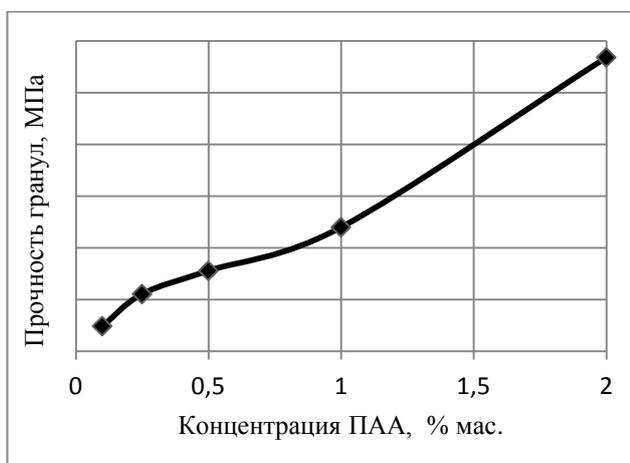


Рис. 3.20. Зависимость прочности гранул от концентрации ПАА, время выдержки 1 сут.

Таблица 3.21. Прочность гранул от концентрации ПАА (время выдержки 2 сут.)

Связующая жидкость	№ образца	L/d мм	S мм ²	Нагрузка, Н	Прочность, МПа	Прочность средняя, МПа
ПАА 0,1%	1	7/3	21	0,3	0,1401	0,1156
	2	7/3	21	0,3	0,1401	
	3	7/3	21	0,31	0,1448	
	4	6/3	18	0,3	0,1635	
ПАА 0,25%	1	7/3	21	0,35	0,1635	0,1907
	2	5,5/3	16,5	0,38	0,2259	
	3	6,8/3	20,4	0,38	0,1827	
	4	6/3	18	0,35	0,1907	
ПАА 0,5%	1	6/3	18	0,38	0,2071	0,2255
	2	6/3	18	0,4	0,2561	
	3	5/3	15	0,4	0,2616	
	4	7/3	21	0,38	0,1775	
ПАА 1%	1	8/3	24	0,64	0,2616	0,2612
	2	7/3	21	0,65	0,3036	
	3	9/3	27	0,6	0,218	
	4	8/3	24	0,64	0,2616	
ПАА 2%	1	7/3	30	1,2	0,3924	0,4404
	2	8/3	24	1,1	0,4496	
	3	6/3	24	1,25	0,5109	
	4	8/3	24	1	0,4087	

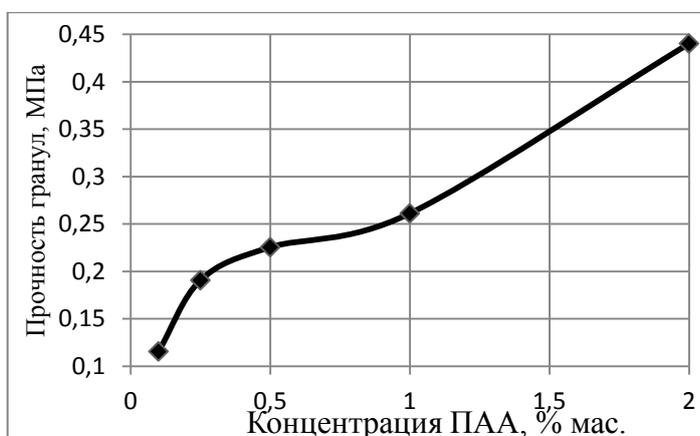


Рис. 3.21. Зависимость прочности гранул от концентрации ПАА, время выдержки 2сут.

Таблица 3.22. Прочность гранул от концентрации ПАА (время выдержки 3 сут.)

Связующая жидкость	№ образца	L/d мм	S мм ²	Нагрузка, Н	Прочность, МПа	Прочность средняя, МПа
ПАА 0,1%	1	7/3	21	0,32	0,1494	0,1581
	2	7/3	21	0,32	0,1494	
	3	7/3	21	0,33	0,1541	
	4	6/3	18	0,33	0,1798	
ПАА 0,25%	1	7/3	21	0,4	0,1868	0,2115
	2	5,5/3	16,5	0,41	0,2437	
	3	6,8/3	20,4	0,4	0,1923	
	4	6/3	18	0,41	0,2234	

ПАА 0,5%	1	6/3	18	0,42	0,2289	0,2444
	2	6/3	18	0,45	0,2452	
	3	5/3	15	0,47	0,3073	
	4	7/3	21	0,42	0,1962	
ПАА 1%	1	8/3	24	0,72	0,2943	0,2994
	2	7/3	21	0,76	0,3550	
	3	9/3	27	0,7	0,2543	
	4	8/3	24	0,72	0,2943	
ПАА 2%	1	7/3	30	1,4	0,4578	0,5282
	2	8/3	24	1,3	0,5313	
	3	6/3	24	1,45	0,5926	
	4	8/3	24	1,3	0,5313	

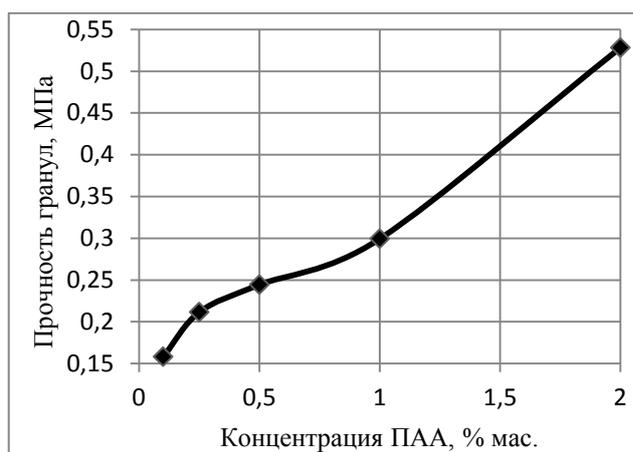


Рис. 3.22. Зависимость прочности гранул от концентрации ПАА, время выдержки 3сут.

Таблица 3.23. Прочность гранул от концентрации ПАА (время выдержки 5сут.)

Связующая жидкость	№ образца	L/d мм	S мм ²	Нагрузка, Н	Прочность, МПа	Прочность средняя, МПа
ПАА 0,1%	1	7/3	21	0,38	0,1775	0,1963
	2	7/3	21	0,4	0,1868	
	3	7/3	21	0,4	0,1868	
	4	6/3	18	0,43	0,2343	
ПАА 0,25%	1	7/3	21	0,48	0,2242	0,2573
	2	5,5/3	16,5	0,5	0,2972	
	3	6,8/3	20,4	0,49	0,2356	
	4	6/3	18	0,5	0,2725	
ПАА 0,5%	1	6/3	18	0,53	0,2888	0,3038
	2	6/3	18	0,55	0,2997	
	3	5/3	15	0,58	0,3793	
	4	7/3	21	0,53	0,2475	
ПАА 1%	1	8/3	24	0,8	0,327	0,3345
	2	7/3	21	0,85	0,397	
	3	9/3	27	0,79	0,287	
	4	8/3	24	0,8	0,327	
ПАА 2%	1	7/3	30	1,53	0,5003	0,59
	2	8/3	24	1,5	0,6131	
	3	6/3	24	1,55	0,6335	
	4	8/3	24	1,5	0,6131	

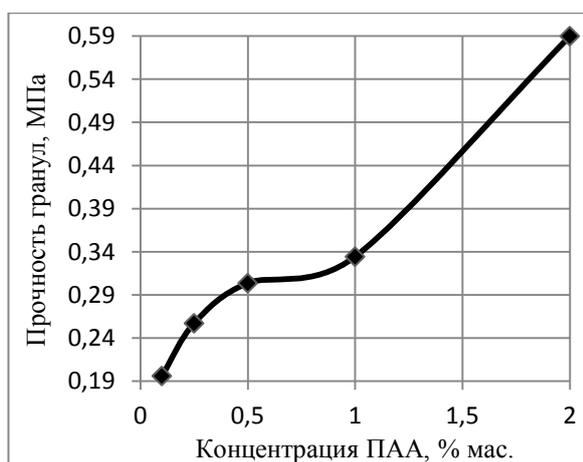


Рис. 3.23. Зависимость прочности гранул от концентрации ПАА, время выдержки 5сут.

Таблица 3.24. Прочность гранул от концентрации ПАА (время выдержки 7сут.)

Связующая жидкость	№ образца	L/d мм	S мм ²	Нагрузка, Н	Прочность, МПа	Прочность средняя, МПа
ПАА 0,1%	1	7/3	21	0,48	0,2242	0,2374
	2	7/3	21	0,49	0,2289	
	3	7/3	21	0,48	0,2242	
	4	6/3	18	0,5	0,2725	
ПАА 0,25%	1	7/3	21	0,51	0,2382	0,2749
	2	5,5/3	16,5	0,55	0,327	
	3	6,8/3	20,4	0,5	0,2404	
	4	6/3	18	0,54	0,2943	
ПАА 0,5%	1	6/3	18	0,58	0,3161	0,3217
	2	6/3	18	0,59	0,3215	
	3	5/3	15	0,6	0,3924	
	4	7/3	21	0,55	0,2569	
ПАА 1%	1	8/3	24	0,85	0,3474	0,3568
	2	7/3	21	0,89	0,4157	
	3	9/3	27	0,85	0,3088	
	4	8/3	24	0,87	0,3556	
ПАА 2%	1	7/3	30	1,6	0,5232	0,6264
	2	8/3	24	1,59	0,6499	
	3	6/3	24	1,66	0,6785	
	4	8/3	24	1,6	0,654	

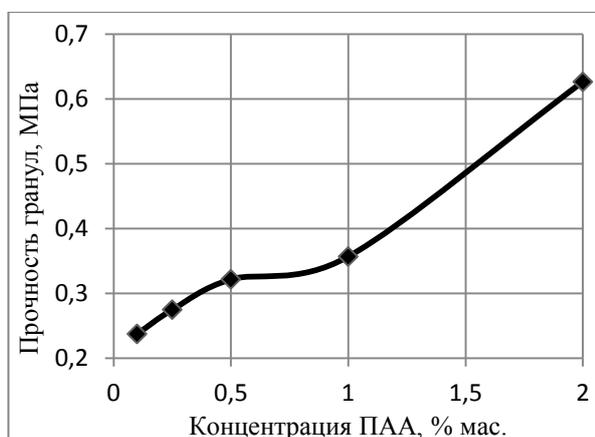


Рис. 3.24. Зависимость прочности гранул от концентрации ПАА, время выдержки 7сут.

Таблица 3.25. Прочность гранул от концентрации ПАА (время выдержки 12сут.)

Связующая жидкость	№ образца	L/d мм	S, мм ²	Нагрузка, Н	Прочность, МПа	Прочность средняя, МПа
ПАА 0,1%	1	7/3	21	0,53	0,2475	0,2720
	2	7/3	21	0,55	0,2569	
	3	7/3	21	0,55	0,2569	
	4	6/3	18	0,6	0,327	
ПАА 0,25%	1	7/3	21	0,65	0,3036	0,3444
	2	5,5/3	16,5	0,68	0,4042	
	3	6,8/3	20,4	0,6	0,2885	
	4	6/3	18	0,7	0,3815	
ПАА 0,5%	1	6/3	18	0,63	0,3433	0,3624
	2	6/3	18	0,65	0,3542	
	3	5/3	15	0,7	0,4578	
	4	7/3	21	0,63	0,2943	
ПАА 1%	1	8/3	24	1,1	0,4496	0,4763
	2	7/3	21	1,25	0,5839	
	3	9/3	27	1,05	0,3815	
	4	8/3	24	1,2	0,4905	
ПАА 2%	1	7/3	30	1,8	0,5886	0,6979
	2	8/3	24	1,78	0,7275	
	3	6/3	24	1,83	0,7480	
	4	8/3	24	1,78	0,7275	

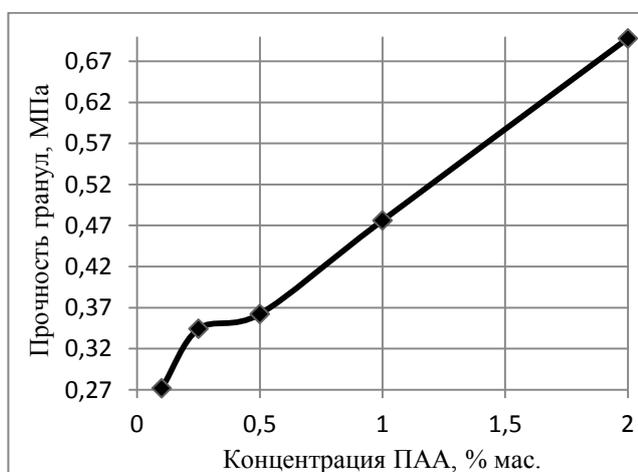


Рис. 3.25. Зависимость прочности гранул от концентрации ПАА, время выдержки 12 сут. Для полученных гранул с полиакриамидом был определен суммарный объем пор. Полученные опытные данные сведены в таблицу 3.26, на основании которой построен график зависимости (рис. 3.26).

Таблица 3.26. Суммарный объем пор гранул от концентрации ПАА

Концентрация	Масса бюкса с крышкой, грамм	Масса бюкса с крышкой+ проба, г	Масса пробы, г	Масса после адсорбции,г	Масса бензола, г	Суммарный объем пор, см ³ /г	Средний объем пор, см ³ /г
ПАА 0,1%	14,1220	14,264	0,1420	14,5165	0,0252	0,2025	0,2012
ПАА 0,1%	14,1560	14,2975	0,1415	14,3323	0,0248	0,2	
ПАА 0,25%	14,1250	14,271	0,1460	14,3072	0,0362	0,2830	0,2286
ПАА 0,25%	14,2550	14,407	0,1520	14,639	0,0232	0,1742	
ПАА 0,5%	15,6250	15,7735	0,1485	15,8056	0,0321	0,2467	0,2266
ПАА 0,5%	14,8120	14,9606	0,1486	14,9875	0,0269	0,2066	
ПАА 1%	14,8563	14,9985	0,1420	15,0303	0,0320	0,2572	0,2301
ПАА 1%	14,1450	14,2945	0,1495	14,3211	0,0266	0,2031	
ПАА 2%	13,2660	13,4156	0,1496	13,4482	0,0326	0,2487	0,2412
МЦ 2%	14,1236	14,2921	0,1685	14,3266	0,0345	0,2337	

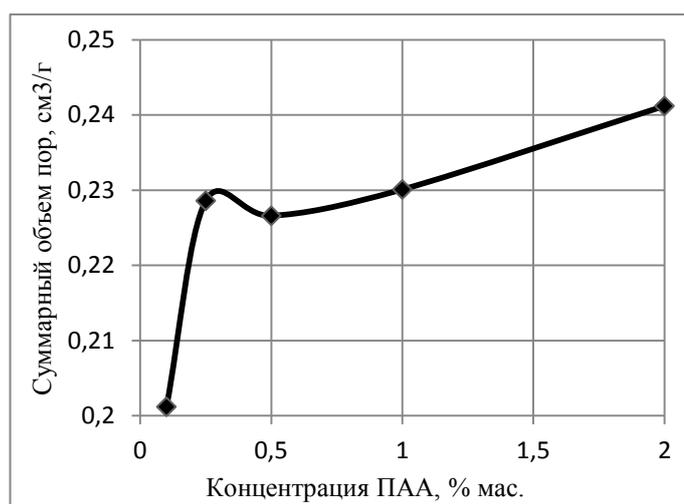


Рис. 3.26. Зависимость суммарного объема пор от концентрации полиакриламида.

3.5 Получение гранул с использованием жидкого стекла в качестве связующей жидкости

Навеску осадка массой 2 г гранулировали в соответствии с методикой 2.2. В качестве связующей жидкости использовали жидкое стекло, концентрация которой варьировалась от 0,1 до 2% (мас.).

Полученные гранулы были исследованы в соответствии с методикой 2.4 на прочность (табл. 3.27–3.32).

Таблица 3.27. Прочность гранул от концентрации ЖС (время выдержки 1сут.)

Связующая жидкость	№ образца	L/d мм	S, мм ²	Нагрузка, Н	Прочность, МПа	Прочность средняя, МПа
ЖС 0,1%	1	8/3	24	0,4	0,1635	0,1662
	2	8/3	24	0,45	0,1839	
	3	8/3	24	0,37	0,1512	
ЖС 0,25%	1	8/3	24	0,6	0,2452	0,2314
	2	7/3	21	0,55	0,2569	
	3	8,5/3	25,5	0,5	0,1923	
ЖС 0,5%	1	7/3	21	0,58	0,2709	0,2693
	2	7/3	21	0,6	0,2802	
	3	7/3	21	0,55	0,2569	
ЖС 1%	1	7/3	21	0,6	0,2802	0,2880
	2	7/3	21	0,7	0,327	
	3	7/3	21	0,55	0,2569	
ЖС 2%	1	9/3	27	0,8	0,2906	0,3003
	2	7,5/3	22,5	0,7	0,3052	
	3	7,5/3	22,5	0,7	0,3052	

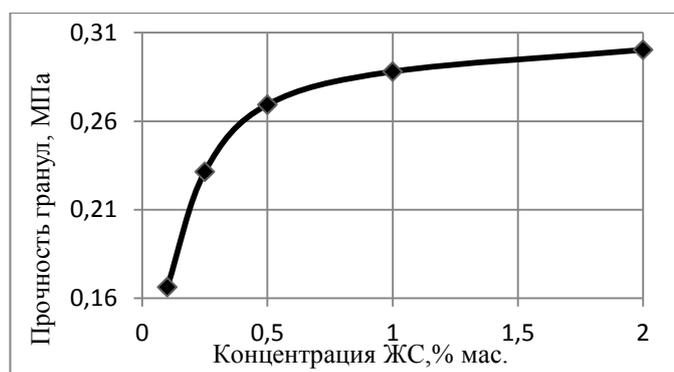


Рис. 3.27. Зависимость прочности гранул от концентрации жидкого стекла, время выдержки 1сут.

Таблица 3.28. Прочность гранул от концентрации ЖС (время выдержки 2 сут.)

Связующая жидкость	№ образца	L/d мм	S мм ²	Нагрузка, Н	Прочность, МПа	Прочность средняя, МПа
ЖС 0,1%	1	6,5/3	19,5	0,35	0,1760	0,1972
	2	7/3	21	0,4	0,1868	
	3	5/3	15	0,35	0,2289	
ЖС 0,25%	1	7,5/3	22,5	0,55	0,2398	0,2367
	2	8/3	24	0,5	0,2043	
	3	4/3	21	0,57	0,2662	
ПАА 0,5%	1	7/3	21	0,5	0,2335	0,2675
	2	7/3	21	0,65	0,3036	
	3	8/3	24	0,65	0,2656	
ПАА 1%	1	6/3	18	0,65	0,3542	0,2870
	2	6/3	18	0,48	0,2616	
	3	6/3	18	0,45	0,2452	
ПАА 2%	1	6/3	18	0,56	0,3052	0,3010
	2	8/3	24	0,72	0,2943	
	3	7/3	21	0,65	0,3036	

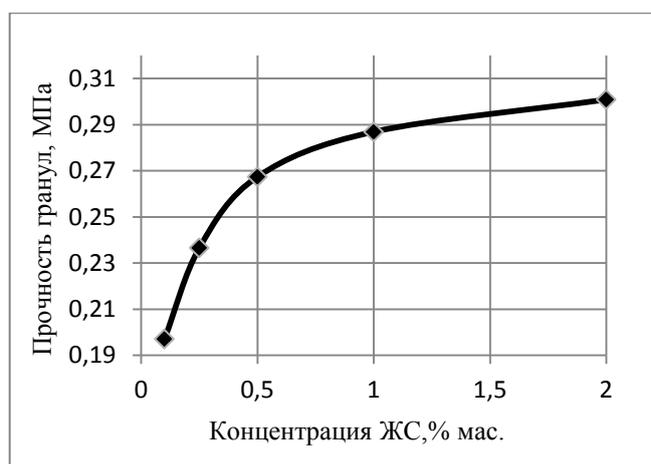


Рис. 3.28. Зависимость прочности гранул от концентрации жидкого стекла, время выдержки 2сут.

Таблица 3.29. Прочность гранул от концентрации ЖС (время выдержки 3 сут.)

Связующая жидкость	№ образца	L/d мм	S, мм ²	Нагрузка, Н	Прочность, МПа	Прочность средняя, МПа
ЖС 0,1%	1	8/3	24	0,5	0,2043	0,2135
	2	9/3	27	0,55	0,1998	
	3	6,5/3	19,5	0,47	0,2364	
ЖС 0,25%	1	7/3	21	0,58	0,2709	0,2415
	2	8/3	24	0,46	0,1880	
	3	8/3	24	0,65	0,2656	
ЖС 0,5%	1	6,5/3	19,5	0,59	0,2968	0,2717
	2	8/3	24	0,64	0,2616	
	3	7/3	21	0,55	0,2569	
ЖС 1%	1	7/3	21	0,54	0,2569	0,2833
	2	7/3	21	0,5	0,2335	
	3	7/3	21	0,77	0,3597	
ЖС 2%	1	9/3	27	0,89	0,3233	0,3039
	2	7/3	21	0,66	0,3083	
	3	7/3	21	0,6	0,2802	

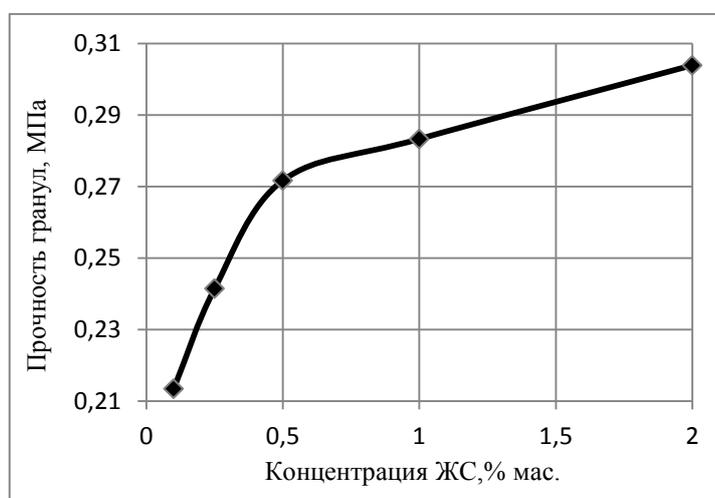


Рис. 3.29. Зависимость прочности гранул от концентрации жидкого стекла, время выдержки 3сут.

Таблица 3.30. Прочность гранул от концентрации ЖС (время выдержки 5сут.)

Связующая жидкость	№ образца	L/d мм	S, мм ²	Нагрузка, Н	Прочность, МПа	Прочность средняя, МПа
ЖС 0,1%	1	6/3	18	0,4	0,2180	0,2180
	2	6/3	18	0,4	0,2180	
	3	6/3	18	0,4	0,2180	
ЖС 0,25%	1	7/3	21	0,42	0,1962	0,2425
	2	6/3	18	0,45	0,2452	
	3	8/3	24	0,7	0,2861	
ЖС 0,5%	1	8/3	24	0,67	0,2738	0,2749
	2	7/3	21	0,6	0,2802	
	3	7/3	21	0,58	0,2709	
ЖС 1%	1	7/3	21	0,64	0,2989	0,2835
	2	8/3	24	0,55	0,2248	
	3	7/3	21	0,7	0,327	
ЖС 2%	1	8/3	24	0,75	0,3065	0,3045
	2	7/3	21	0,7	0,3270	
	3	7/3	21	0,6	0,2802	

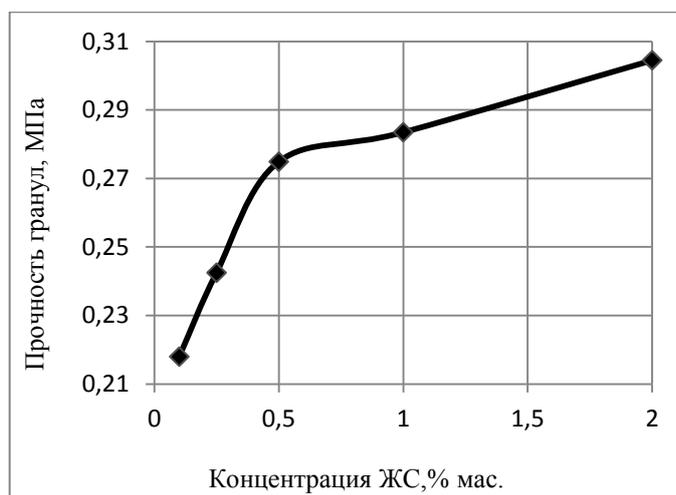


Рис. 3.30. Зависимость прочности гранул от концентрации жидкого стекла, время выдержки 5сут.

Таблица 3.31. Прочность гранул от концентрации ЖС (время выдержки 7сут.)

Связующая жидкость	№ образца	L/d мм	S, мм ²	Нагрузка, Н	Прочность, МПа	Прочность средняя, МПа
ЖС 0,1%	1	7/3	21	0,55	0,2569	0,2297
	2	8/3	24	0,45	0,1839	
	3	5/3	15	0,38	0,2485	
ЖС 0,25%	1	7/3	21	0,5	0,2335	0,2576
	2	6/3	18	0,45	0,2452	
	3	5/3	15	0,45	0,2943	
ЖС 0,5%	1	6/3	18	0,6	0,3270	0,2867
	2	7/3	21	0,5	0,2335	
	3	6/3	18	0,55	0,2997	
ЖС 1%	1	6/3	18	0,6	0,2802	0,2921
	2	7/3	21	0,6	0,2802	
	3	6/3	18	0,58	0,3161	

ЖС 2%	1	7/3	21	0,7	0,3270	0,3114
	2	7/3	21	0,6	0,2802	
	3	6/3	18	0,6	0,3270	

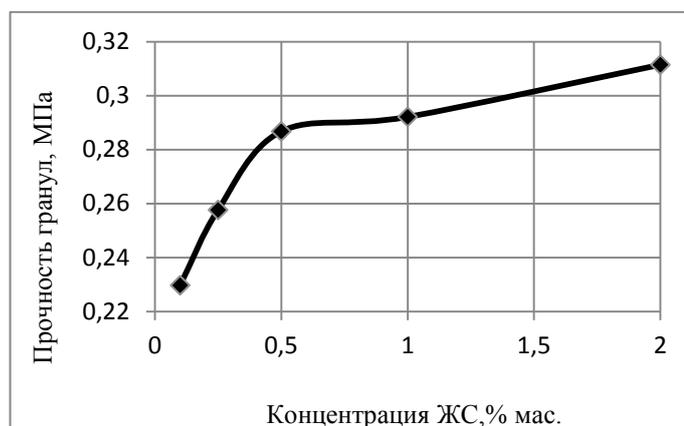


Рис. 3.31. Зависимость прочности гранул от концентрации жидкого стекла, время выдержки 7сут.

Таблица 3.32. Прочность гранул от концентрации ЖС (время выдержки 12сут.)

Связующая жидкость	№ образца	L/d мм	S мм ²	Нагрузка, Н	Прочность, МПа	Прочность средняя, МПа
ЖС 0,1%	1	7/3	21	0,5	0,2335	0,2335
	2	7/3	21	0,5	0,2335	
	3	7/3	21	0,5	0,2335	
ЖС 0,25%	1	6/3	18	0,5	0,2725	0,2628
	2	8/3	24	0,6	0,2452	
	3	7/3	21	0,58	0,2709	
ЖС 0,5%	1	4/3	12	0,4	0,3270	0,2870
	2	6/3	18	0,5	0,2725	
	3	6/3	18	0,48	0,2616	
ЖС 1%	1	6/3	18	0,58	0,3161	0,3000
	2	6/3	18	0,6	0,327	
	3	7/3	21	0,55	0,2569	
ЖС 2%	1	5/3	15	0,55	0,3597	0,3197
	2	5/3	15	0,5	0,327	
	3	6/3	18	0,5	0,2725	

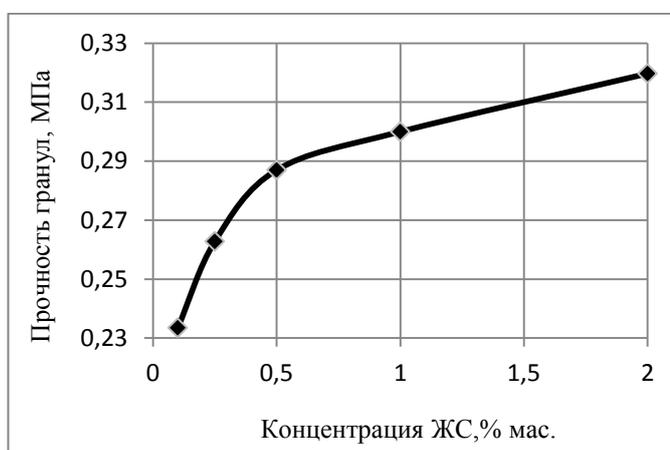


Рис. 3.32. Зависимость прочности гранул от концентрации жидкого стекла, время выдержки 12сут.

Таблица 3.33. Суммарный объем пор гранул от концентрации ЖС и от времени выдержки 1 сут.

Концентрация	Масса бюкса с крышкой, грамм	Масса бюкса с крышкой+ проба, г	Масса пробы, г	Масса после адсорбции, г	Масса бензола, г	Суммарный объем пор, см ³ /г	Средний объем пор, см ³ /г
ЖС 0,1%	14,0236	14,1929	0,1693	14,2375	0,0446	0,3007	0,2820
ЖС 0,1%	14,3336	14,5057	0,1721	14,5454	0,0397	0,2633	
ЖС 0,25%	11,7658	11,9336	0,1678	11,9768	0,0432	0,2938	0,2718
ЖС 0,25%	14,4878	14,6619	0,1741	14,7000	0,0381	0,2498	
ЖС 0,5%	14,6563	14,8071	0,1508	14,8465	0,0394	0,2982	0,2626
ЖС 0,5%	14,9810	15,1444	0,1634	15,1769	0,0325	0,2270	
ЖС 1%	14,5715	14,7428	0,1713	14,7845	0,0417	0,2778	0,2587
ЖС 1%	14,3807	14,5445	0,1638	14,5789	0,0344	0,2397	
ЖС 2%	13,8458	14,0564	0,2106	14,0940	0,0376	0,2038	0,2384
ЖС 2%	14,3726	14,5666	0,1940	14,6130	0,0464	0,2730	

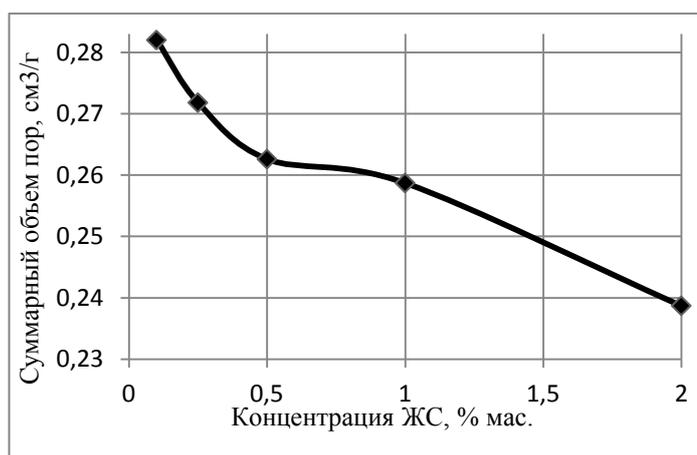


Рис. 3.33. Зависимость суммарного объема пор от концентрации жидкого стекла, время выдержки 1сут.

Таблица 3.34. Суммарный объем пор гранул от концентрации ЖС и от времени выдержки 2 сут

Концентрация	Масса бюкса с крышкой, грамм	Масса бюкса с крышкой+ проба, г	Масса пробы, г	Масса после адсорбции, г	Масса бензола, г	Суммарный объем пор, см ³ /г	Средний объем пор, см ³ /г
ЖС 0,1%	14,0236	14,1929	0,1693	14,2380	0,0451	0,3040	0,2820
ЖС 0,1%	14,3336	14,5057	0,1721	14,5449	0,0392	0,2600	
ЖС 0,25%	11,7658	11,9336	0,1678	11,9680	0,0344	0,2340	0,2746
ЖС 0,25%	14,4878	14,6619	0,1741	15,1429	0,0481	0,3153	
ЖС 0,5%	14,6563	14,8071	0,1508	14,8439	0,0368	0,2785	0,2527
ЖС 0,5%	14,9810	15,1444	0,1634	15,1769	0,0325	0,2270	
ЖС 1%	14,5715	14,7428	0,1713	14,7771	0,0343	0,2285	0,2518
ЖС 1%	14,3807	14,5445	0,1638	14,5840	0,0395	0,2752	
ЖС 2%	13,8458	14,0564	0,2106	14,0964	0,0400	0,2168	0,2322
ЖС 2%	14,3726	14,5666	0,1940	14,6087	0,0421	0,2477	

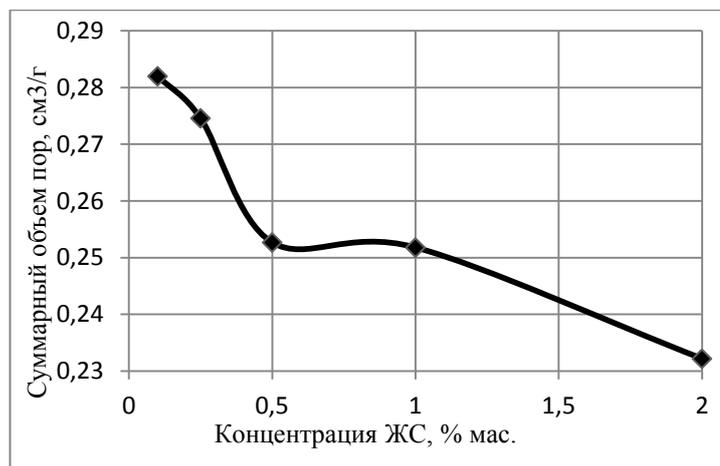


Рис. 3.34. Зависимость суммарного объема пор от концентрации жидкого стекла, время выдержки 1сут.

Таблица 3.35. Суммарный объем пор гранул от концентрации ЖС и от времени выдержки 3сут

Концентрация	Масса бюкса с крышкой, грамм	Масса бюкса с крышкой+ проба, г	Масса пробы, г	Масса после адсорбции, г	Масса бензола, г	Суммарный объем пор, см³/г	Средний объем пор, см³/г
ЖС 0,1%	14,0236	14,1929	0,1693	14,2335	0,0406	0,2737	0,2751
ЖС 0,1%	14,3336	14,5057	0,1721	14,5474	0,0417	0,2766	
ЖС 0,25%	11,7658	11,9336	0,1678	11,9740	0,0404	0,2748	0,2688
ЖС 0,25%	14,4878	14,6619	0,1741	14,702	0,0401	0,2629	
ЖС 0,5%	14,6563	14,8071	0,1508	14,8370	0,0299	0,2263	0,2322
ЖС 0,5%	14,9810	15,1444	0,1634	15,1785	0,0341	0,2382	
ЖС 1%	14,5715	14,7428	0,1713	14,7784	0,0356	0,2372	0,2193
ЖС 1%	14,3807	14,5445	0,1638	14,5734	0,0289	0,2014	
ЖС 2%	13,8458	14,0564	0,2106	14,0828	0,0264	0,1431	0,2157
ЖС 2%	14,3726	14,5666	0,1940	14,6150	0,049	0,2883	

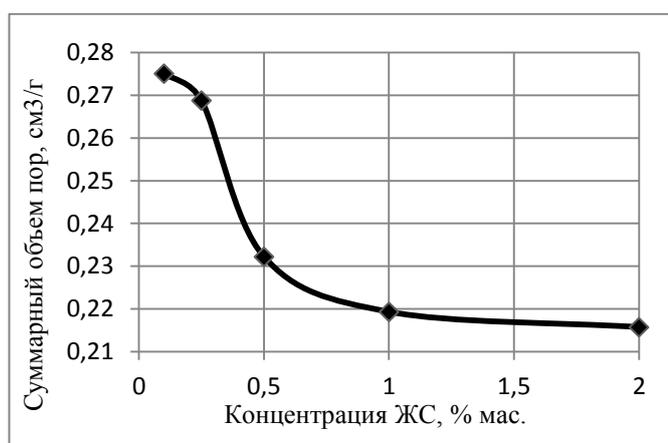


Рис. 3.35. Зависимость суммарного объема пор от концентрации жидкого стекла, время выдержки 3сут.

Таблица 3.36. Суммарный объем пор гранул от концентрации ЖС и от времени выдержки 7 сут.

Концентрация	Масса бюкса с крышкой, грамм	Масса бюкса с крышкой+ проба, г	Масса пробы, г	Масса после адсорбции, г	Масса бензола, г	Суммарный объем пор, см ³ /г	Средний объем пор, см ³ /г
ЖС 0,1%	14,0236	14,1929	0,1693	14,2458	0,0529	0,3566	0,2741
ЖС 0,1%	14,3336	14,5057	0,1721	14,5346	0,0289	0,1916	
ЖС 0,25%	11,7658	11,9336	0,1678	11,9718	0,0382	0,2598	0,2512
ЖС 0,25%	14,4878	14,6619	0,1741	14,6989	0,037	0,2426	
ЖС 0,5%	14,6563	14,8071	0,1508	14,8367	0,0296	0,2240	0,2223
ЖС 0,5%	14,9810	15,1444	0,1634	15,176	0,0316	0,2207	
ЖС 1%	14,5715	14,7428	0,1713	14,771	0,0282	0,1879	0,2148
ЖС 1%	14,3807	14,5445	0,1638	14,5792	0,0347	0,2418	
ЖС 2%	13,8458	14,0564	0,2106	14,0837	0,0273	0,1479	0,1889
ЖС 2%	14,3726	14,5666	0,1940	14,6057	0,0391	0,2300	

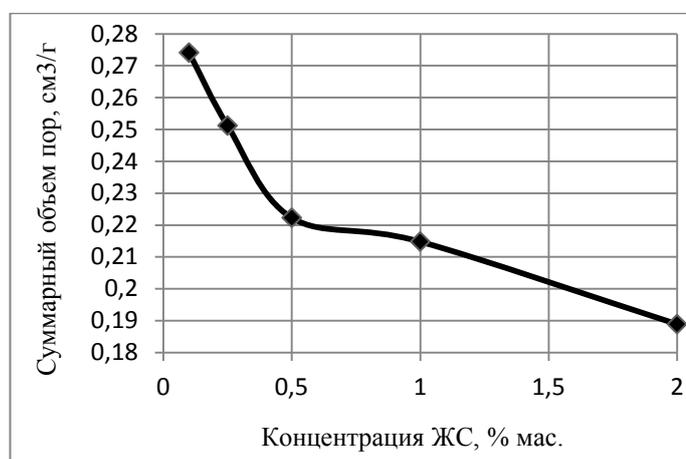


Рис. 3.36. Зависимость суммарного объема пор от концентрации жидкого стекла, время выдержки 7 сут.

Анализируя кривые, представленные на рис. 3.37, можно сделать вывод, что с повышением концентрации жидкого стекла суммарный объем пор гранул уменьшается за счет образования гидратированного полимера. Также наблюдается снижение объема пор на 10–25 % с увеличением времени выдержки, что объясняется снижением остаточной влажности гранул.

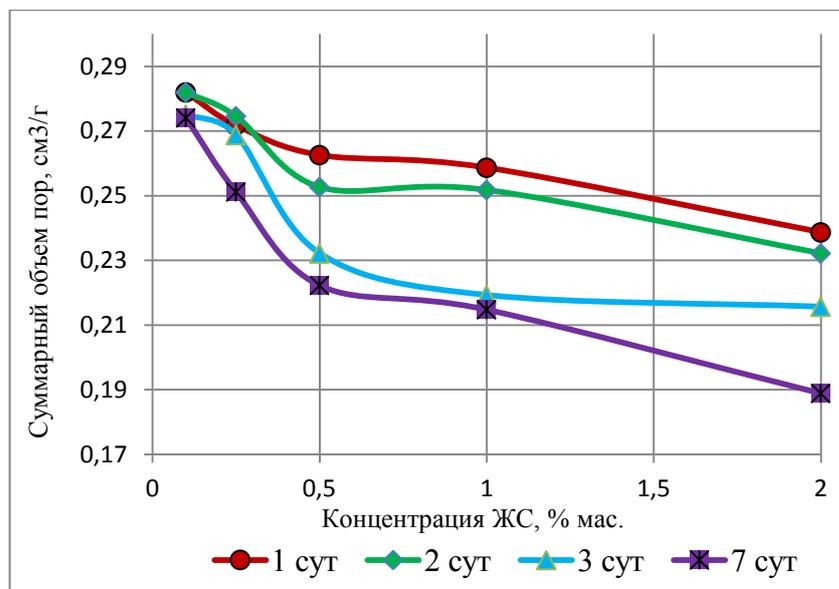


Рис. 3.37. Зависимость суммарного объема пор от концентрации жидкого стекла и времени выдержки.

4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные результаты по определению прочности гранул от концентрации КМЦ и от времени выдержки приведены на рис.4.1.

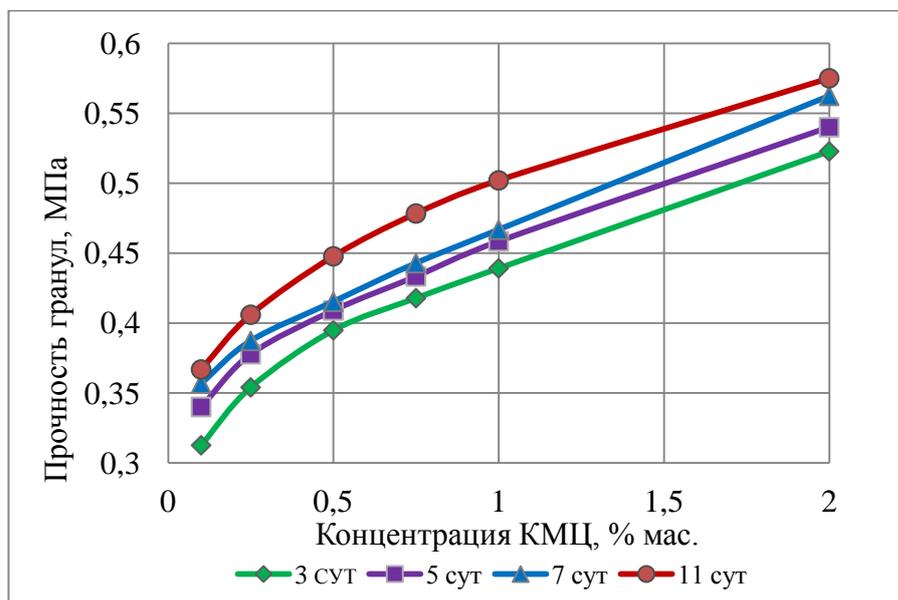


Рис. 4.1. Зависимость прочности гранул от концентрации КМЦ и от времени выдержки.

Из полученных данных видно, что прочность гранул возрастает с увеличением концентрации КМЦ и с увеличением времени выдержки. Это объясняется тем, что в процессе сушки гранул происходит полимеризация КМЦ, которая протекает в течение определенного времени.

Полученные результаты по определению прочности от концентрации глиоксаля и от времени выдержки приведены на рис. 4.2. По представленным данным можно сделать вывод о том, что при сушке сорбента в течение 6 суток наблюдается увеличение прочности гранул с повышением концентрации глиоксали. Однако дальнейший процесс сушки приводит к понижению прочности сорбента. Это объясняется свойствами глиоксаля, который сразу после формирования остается в жидкообразном виде, затем происходит его полимеризация, приводящая к упрочнению гранул. Дальнейший процесс сушки приводит к кристаллизации глиоксаля, что вызывает хрупкость гранул.

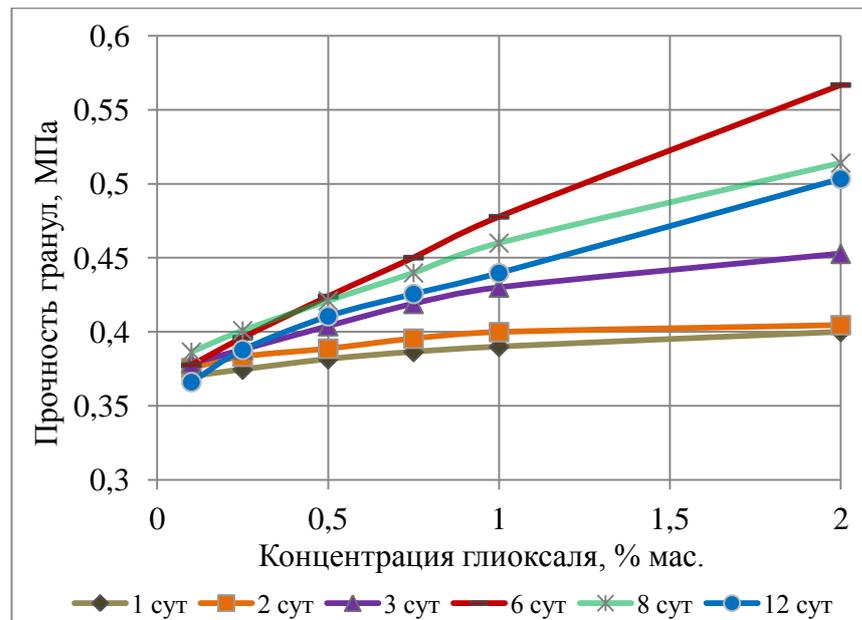


Рис. 4.2. Зависимость прочности гранул от концентрации глиоксаля и от времени выдержки.

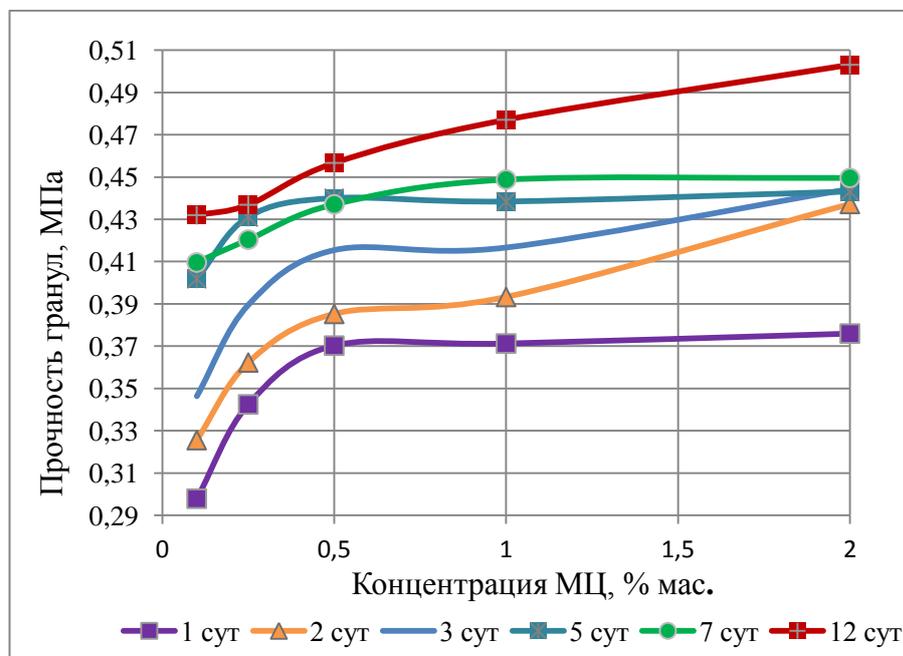


Рис. 4.3. Зависимость прочности гранул от концентрации МЦ и от времени выдержки.

Из опытных данных, представленных на рис. 4.3, видно, что прочность гранул с МЦ повышается с увеличением концентрации, и с увеличением времени выдержки гранул. Однако можно наблюдать, что при концентрации МЦ равной 2 % прочность практически одинакова и составляет около 0,43 МПа независимо от времени выдержки гранул.

Анализируя результаты прочностных характеристик гранул, полученных с ПАА (рис. 4.4), можно сделать следующие выводы. С повышением концентрации ПАА прочность гранул увеличивается равномерно в 3,2 раза, и

время выдержки гранул также равномерно увеличивает прочность в 2,2 раза. Это объясняется равномерным процессом полимеризации связующей жидкости, происходящим во времени при увеличении содержания ПАА в гранулах.

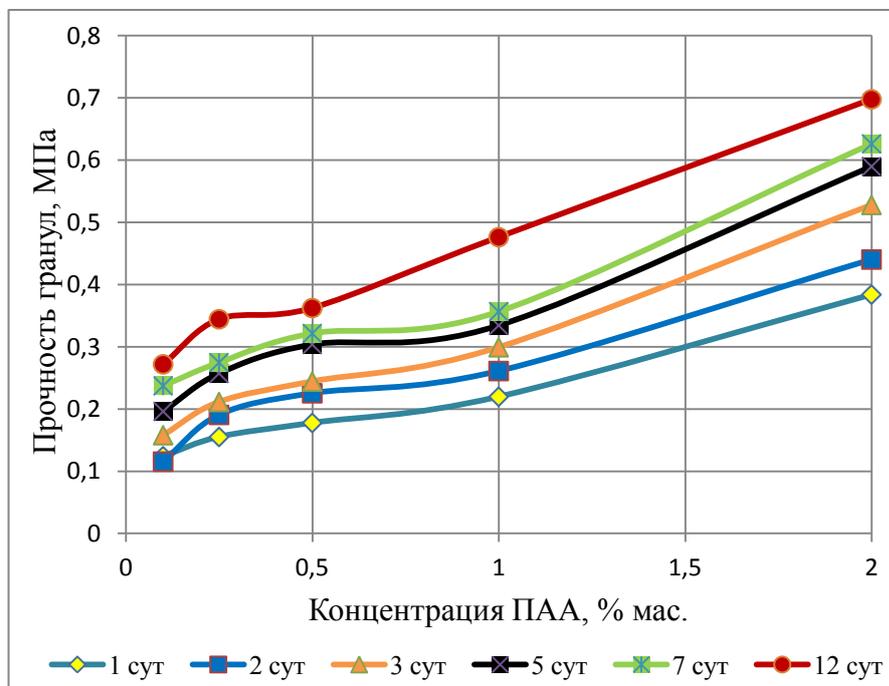


Рис. 4.4. Зависимость прочности гранул от концентрации ПАА и от времени выдержки. Кривые, полученные с использованием жидкого стекла в качестве связующей жидкости (рис. 4.5), ведут себя аналогично кривым, полученным с ПАА. Однако прочностные показатели почти в два раза ниже, чем у гранул с ПАА.

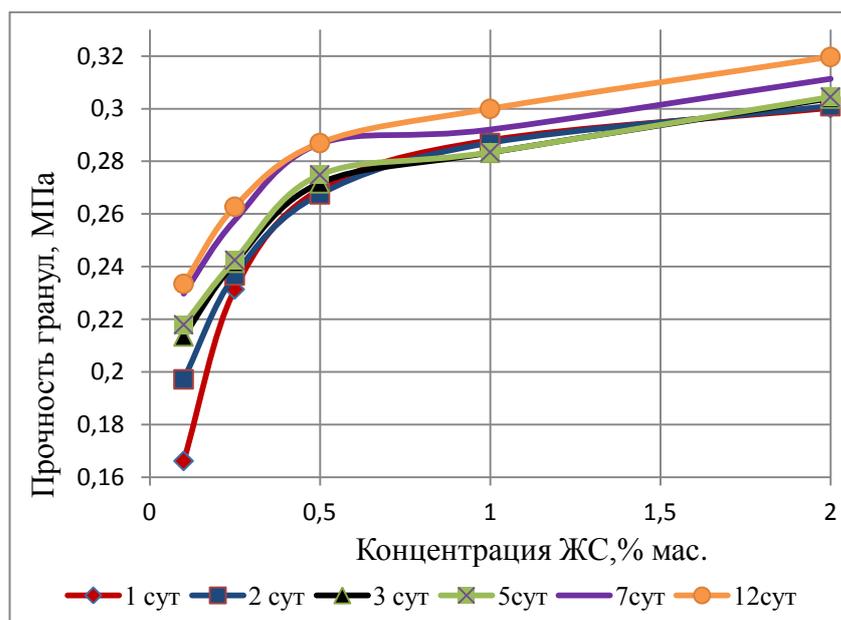


Рис. 4.5. Зависимость прочности гранул от концентрации жидкого стекла и от времени выдержки.

В тоже время повышение концентрации жидкого стекла с 0,1 до 2 % увеличивает прочность гранул в 1,5-2 раза. При воздушной сушке избыточная вода испаряется из ЖС и плотность связующего раствора увеличивается. Количество твердой фазы в удельном объеме связующего увеличивается до момента, когда в нем произойдет полимеризация щелочно-силикатной твердой фазы. При увеличении времени выдержки гранул происходит концентрационная полимеризация гидратированного щелочного силиката с переходом его из жидкого в твердофазное агрегатное состояние [29].

На рис. 4.6 представлены прочностные характеристики гранул, полученных с различными связующими жидкостями и временем выдержки 12 суток. Как видно из графика, увеличение концентрации связующих веществ способствует повышению прочности гранул, т.к. массовая доля связующего в грануле возрастает. Самая низкая прочность наблюдается у гранул, полученных с жидким стеклом, самая высокая – у гранул с КМЦ и ПАА. В целом гранулы с ЖС в 1,5–2,2 раза менее прочные, по сравнению с полимерными связующими, поэтому жидкое стекло не желательно брать в качестве связующей жидкости.

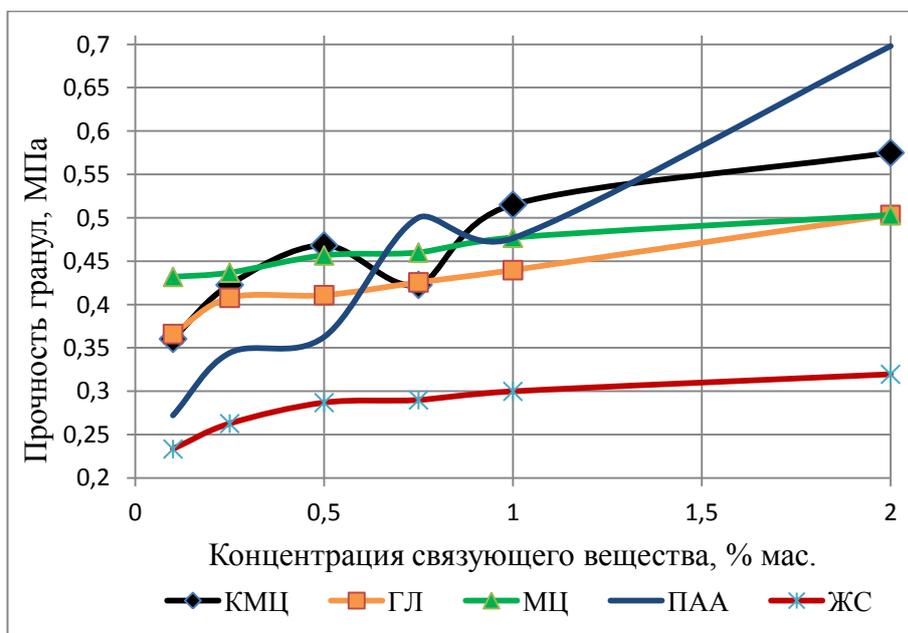


Рис. 4.6. Зависимость прочности гранул от концентрации связующего вещества при времени выдержки 12 суток.

Среди остальных связующих наиболее прочными оказались гранулы с

ПАА при концентрации 2 %, при этом увеличение концентрации с 0,1 до 2 % повышает прочность в 2,7 раза. Увеличение концентрации МЦ и глиоксаля приводит к незначительному повышению прочностных характеристик приблизительно на 10–30 %.

Анализируя результаты по суммарному объему пор гранул, сформованных с различными связующими жидкостями (рис. 4.7), можно наблюдать следующую зависимость. Объем пор с увеличением концентрации связующих возрастает, кроме кривой с жидким стеклом. Это объясняется полимеризацией связующих жидкостей, приводящей к дополнительному объему пор в грануле. Наибольший объем пор наблюдается в гранулах с КМЦ и ПАА. Самое низкое значение объема пор у гранул с глиоксалем, но с увеличением концентрации с 0,1 до 2 % объем пор увеличивается в 2,2 раза. Несмотря на то, объем пор в гранулах с жидким стеклом выше, чем с другими связующими жидкостями, прочность на раздавливание в статических условиях для гранул с ЖС уменьшается вдвое.

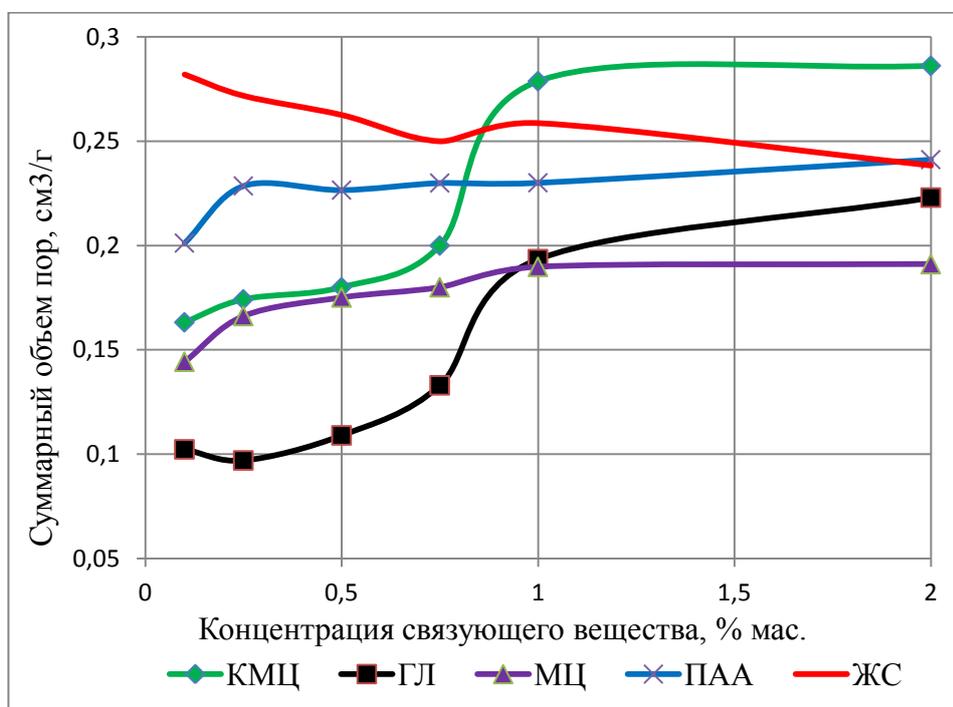


Рис. 4.7. Зависимость суммарного объема пор от концентрации связующего вещества при времени выдержки 12 суток

5 РАЗДЕЛ «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Решение проблемы снижения загрязнения окружающей среды продуктами жизнедеятельности и промышленными отходами - одна из важнейших задач охраны окружающей среды, требующая в современных условиях скорейшего решения. Это возможно как с помощью совершенствования известных технологий очистки и регенерации, так и разработки новых эффективных и более экономичных сорбентов. Отработанные смазочные материалы относятся к продуктам жизнедеятельности общества и характеризуются неудовлетворительными экологическими свойствами, т.е. токсичностью, канцерогенностью, пожаро- и взрывоопасностью. Поэтому необходима их экологически безопасная утилизация, что предполагает переработку с получением продуктов, по качеству удовлетворяющих требованиям потребителей. При этом решается как задача снижения расхода природных ресурсов и утилизация отработанных материалов, так и обеспечения предприятий недорогими дефицитными маслами.

На современном этапе развития российской промышленности важным и актуальным является вопрос вовлечения в производство вторичного сырья, а именно: отработанных масел, которые представляют собой сырьевую базу для получения ценных нефтепродуктов при надлежащей переработке.

Сорбенты для работ по техническому обслуживанию – идеально подходят для чистого, безопасного и эффективного поглощения масел и других промышленных жидкостей, включая воду. Они предназначены для ликвидации разливов неагрессивных веществ и других промышленных жидкостей, легкие и не требуют много времени для развертывания. Порошковый сорбент, составленный на основе отходов производства, не требующий сложной технологии приготовления, обладает высокой сорбционной емкостью. За счет этого происходит снижение технико-экономических затрат, обеспечение сбора образующегося агломерата с поверхности воды; утилизация порошкообразных

отходов производства и нефтяных пятен. Степень очистки индустриального масла составляет 90 %.

5.1. Предпроектный анализ

5.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Основные потребители сорбентов для очистки отработанных минеральных масел – это отечественные и зарубежные энергопредприятия и предприятия по ремонту маслonaполненного электрооборудования.

В целях сокращения расхода свежих масел на предприятиях должны приниматься меры по очистке собранных отработанных масел для их повторного использования в основном оборудовании или очистке эксплуатационных масел при ухудшении их свойств непосредственно в оборудовании.

При очистке масел адсорбционными методами значение имеет выбор адсорбента, поскольку от него в большей мере зависит и качество очищенного масла, и стоимость очистки.

В настоящий момент в основном используют синтетические адсорбенты, которые дефицитны и стоят дорого, что делает их применение экономически выгодным только при условии многократного использования после восстановления. Необходимость восстановления адсорбентов усложняет использование их для регенерации масел, так как требуются дополнительное оборудование и значительные затраты рабочей силы.

Некоторые из адсорбентов – на основе бентонитовых порошков, различные углеродные адсорбенты, пенополистирол и другие – при очистке масел загрязняют его различными вредными компонентами, входящими в состав адсорбентов.

В связи с этим многими компаниями было выбрано применение дешевых и доступных природных адсорбентов с достаточно высокой адсорбционной способностью. Из наиболее распространенных можно привести следующие аналоги: М-80 производства ЗАО «Сорбент» и F-160 производства BASF

Catalysts (Германия), которые отличаются по своим свойствам и, соответственно, стоимости. Адсорбент марки М-80 представляет собой опоку Зикеевского месторождения (Брянская область) и является самым дешевым адсорбентом на российском рынке, однако не всегда удается получить очищенное масло, удовлетворяющее требованиям ГОСТ (ГОСТ 10121-76 на свежее масло). Адсорбент немецкой компании позволяет получить масло более высоко качества, но его стоимость в несколько раз больше.

Для предприятий, которые находятся в сибирском и дальне-восточном регионах ситуация осложняется тем, что при стоимости сорбентов стоит учитывать также стоимость доставки, которая сильно увеличивает конечную стоимость.

Поэтому нами в качестве целевого рынка были выбраны предприятия России, в первую очередь те, что находятся в Сибири и на Дальнем Востоке.

Основным рынком для сорбентов являются нефтеперерабатывающие предприятия, а также предприятия других отраслей, в которых требуется очистка сточных вод.

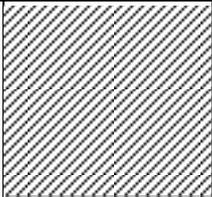
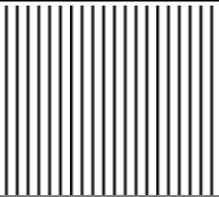
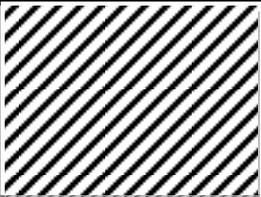
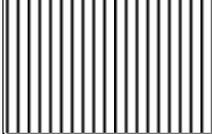
	Технологические параметры			
	Прочность	Пористость	Сорбционная емкость	Транспортировка и хранение
Нефтеперерабатывающие предприятия				
Предприятия других отраслей				

Рисунок 5.1 – Карта сегментирования рынка применения сорбентов

-  – Гранулированный сорбент методом экструзии;
-  – Сорбент БАУ-МФ;
-  – природный сорбент;

В результате сегментирования выявили, что основным сегментом рынка являются предприятия других отраслей.

Задачей для ВКР является получение сорбентов на основе вторичного сырья, то основной сегмент рынка, на который мы будем ориентироваться – это предприятия разных отраслей, которым требуется очистка сточных вод и очистка минеральных масел от нефтехимических примесей.

5.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Чтобы оценить перспективность нашей разработки проведем анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, оценив их сильные и слабые стороны.

Таблица 5.1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1 Высокая степень очистки масла	0,20	5	2	4	1	0,4	0,8
2 Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	4	4	0,75	0,6	0,6
3 Прочность сорбента	0,10	5	3	3	0,5	0,3	0,3
4 Безопасность	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
Экономические критерии оценки эффективности							
1 Конкурентоспособность продукта	0,10	5	4	3	0,5	0,4	0,3
2 Уровень проникновения на рынок	0,07	4	5	4	0,28	0,35	0,28
3 Цена	0,1	5	4	2	0,5	0,4	0,2
4 Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	5	5	5	0,4	0,4	0,4
5 Финансирование научной разработки	0,03	4	4	5	0,12	0,12	0,15
6 Срок выхода на рынок	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28
7 Наличие сертификации разработки	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
Итого	1	53	45	44	4,90	3,75	3,81

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (5.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; V_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл i -го показателя.

Конкурентоспособность разработки составила 4,90, в то время как основных конкурентов 3,75 и 3,81. Результаты показывают, что данная научно-исследовательская разработка является конкурентоспособной и имеет преимущества по таким показателям, как высокая степень очистки масла, прочность сорбента и цена.

5.1.3 SWOT-анализ

Следующим шагом необходимо провести комплексный анализ научно-исследовательского проекта, для этого проведем SWOT-анализ, который применяется для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Таблица 5.2. Матрица SWOT.

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>С2. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими компаниями.</p> <p>С3. Квалифицированный руководитель.</p> <p>С4. Высокое качество продукта.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Высокая конкуренция.</p> <p>Сл2. Отсутствие рекламы.</p> <p>Сл3. Неизвестность торговой марки на рынке.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ.</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт научных исследований.</p> <p>В3. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p> <p>В4. Снижение стоимости исходного сырья.</p>	<p>1. Постоянный поиск путей снижения себестоимости продукции.</p> <p>2. Продолжение научных исследований с целью усовершенствования имеющейся технологии.</p>	<p>1. Поиск новых покупателей.</p> <p>2. Проведение маркетинговой кампании, направленной на знакомство потребителя с продукцией.</p> <p>3. Поиск других поставщиков сырья с более низкой стоимостью.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства.</p> <p>У3. Изменение законодательства.</p> <p>У4. Повышение стоимости исходного сырья.</p>	<p>1. Продвижение новой технологии с целью появления дополнительного спроса.</p> <p>2. Постоянное отслеживание изменений в российском законодательстве.</p>	<p>1. Повышение квалификации кадров.</p> <p>2. Поиск путей реализации разработки на новых рынках.</p>

5.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Чтобы оценить готовность проекта к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения воспользуемся специальной формой, представленной в табл. 5.3.

Таблица 5.3. Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации.

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	5
Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	5
Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
Определены авторы и осуществлена охрана их прав	3	4
Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	3
Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	4	4
Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	3	3
Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	4
Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	4
Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	3
Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	2
Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	4
Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	3
Проработан механизм реализации научного проекта	3	3
ИТОГО БАЛЛОВ	43	55

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i, \quad (5.2)$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Значение степени проработанности научного проекта составило 43, что говорит о средней перспективности. Значение уровня имеющихся знаний у разработчика составило 55 – перспективность выше среднего.

По результатам оценки можно сказать, что в первую очередь необходимо проработать вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот. Следующими задачами будет проработка вопросов финансирования коммерциализации научной разработки и поиск команды для коммерциализации научной разработки. Что касается вопросов международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок, то такие задачи перед нами стоят, но на втором этапе, после успешного продвижения на российском рынке.

5.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Методом коммерциализации научной разработки нами выбрана продажа полной патентной лицензии на нашу разработку. На настоящий момент наша разработка прошла серию испытаний, в результате которых был выявлен ряд преимуществ по сравнению с основными конкурентами – как по качеству, так и по стоимости производства.

5.2 Инициация проекта

5.2.1 Цели и результат проекта

Таблица 5.4. Заинтересованные стороны проекта.

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Газпромнефть-СМ, ООО (Омск)	Улучшение степени очистки отработанных масел, снижение затрат на производство новых масел.

Таблица 5.5. Цели и результат проекта.

Цели проекта:	Применение новых сорбентов, позволяющих качественно очищать отработанные масла
Ожидаемые результаты проекта:	Степень очистки отработанных масел останется на прежнем уровне или возрастет, при этом стоимость очистки будет ниже, чем при применении сорбентов конкурентов.
Критерии приемки результата проекта:	Высокая степень очистки масла
Требования к результату проекта:	Требование:
	Целевой продукт соответствует требованиям ГОСТ
	Более высокая степень очистки масел по сравнению с применяемыми ранее сорбентами
	Стоимость очистки масел с применением новых сорбентов ниже, чем при использовании предыдущих сорбентов

5.2.2 Организационная структура проекта

Таблица 5.6. Рабочая группа проекта.

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудовые затраты, час.
1	Семакина Ольга Константиновна, НИ ТПУ, кафедра ОХТ, доцент	Руководитель	Координация деятельности проекта	100
2	Олчоновна Сынару Юрьевна, НИ ТПУ, кафедра ОХТ, магистрант	Исполнитель	Выполнение НИР	400
ИТОГО:				500

5.3 Планирование управления научно-техническим проектом

5.3.1 План проекта

Таблица 5.7. Календарный план проекта.

Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
Изучение литературы, составление литературного обзора	31	01.01	20.02	Олчоновна Сынару Юрьевна
Получение сорбентов для дальнейших опытов	20	21.02	21.03	Олчоновна Сынару Юрьевна, Семакина Ольга Константиновна
Определение свойств полученных гранул	20	22.03	19.04	Олчоновна Сынару Юрьевна, Семакина Ольга Константиновна
Обсуждение полученных результатов	8	20.04	30.04	Олчоновна Сынару Юрьевна, Семакина Ольга Константиновна
Оформление выводов	9	1.05	16.05	Олчоновна Сынару Юрьевна
Оформление пояснительной записки	10	17.05	31.05	Олчоновна Сынару Юрьевна, Семакина Ольга Константиновна
Итого:	98	1.01	31.05	

Для иллюстрации календарного плана проекта приведем диаграмму Ганта, на которой работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующиеся датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства отображения каждый месяц разделен на декады (таблица 5.8).

Таблица 5.8. Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Вид работ	Исполнители	Т _к , раб. дн.	Продолжительность выполнения работ														
			январь			февраль			март			апрель			май		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Изучение литературы, составление литературного обзора	Магистрант	31	■						■								
Получение сорбентов для дальнейших опытов	Магистрант, лаборант, руководитель	20							▨								
Определение свойств полученных гранул	Магистрант, лаборант, руководитель	20							▨			■					
Обсуждение полученных результатов	Магистрант, руководитель	8							▨			■			▨		
Оформление выводов	Магистрант	9													■		
Оформление пояснительной записки	Магистрант, руководитель	10													■		

5.3.2 Бюджет научного исследования

Таблица 5.9. Группировка затрат по статьям

Стоимость сырья, материалов (за вычетом возвратных отходов), покупных изделий и полуфабрикатов, руб	Стоимость специального оборудования для научных (экспериментальных) работ, руб	Стоимость электроэнергии, руб	Основная заработная плата, руб	Отчисления на социальные нужды, руб	Итого плановая себестоимость, руб
367,5	10677,75	662,56	255146,17	77819,58	344673,56

Таблица 5.10. Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
ПВС	ПВС порошок, 1 кг	1	100	100
Блокнот	A4	2	100	200
Ручка		5	10	50
Всего за материалы				350
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				17,5
Итого по статье С _м				367,5

При выполнении данной НИР необходимости в приобретении нового оборудования не было, поскольку лаборатория, в рамках которой велась работа, полностью оборудована всем необходимым.

Таблица 5.11. Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
Компьютер	1	25000	28750
Эксикатор	1	1580	1817
Бюкс	10	386	4439
Весы аналитические	1	44850	51577,50
Вибростенд с набором сит	1	48000	55200
Прибор МП-9С	1	20000	23000
Штангенциркуль	1	409	470,35

ИТОГО: 165253,85

Поскольку, как уже было сказано выше, все оборудование, представленное в таблице 5.11, уже имелось в лаборатории, то стоимость оборудования, используемого при выполнении нашего научного проекта, должна учитываться в виде амортизационных отчислений. При расчете использовали линейный способ начисления амортизационных отчислений.

Таблица 5.12. Стоимость оборудования в виде амортизационных отчислений

Наименование оборудования	Общая стоимость оборудования, руб.	Срок амортизации, лет	Стоимость амортизации за год, руб
Весы аналитические	51577,50	10	5157,75
Вибростенд с набором сит	55200	10	5520

ИТОГО: 10677,75

Следующей статьей расходов является плата за электроэнергию. Для этого сначала найдем количество потребляемой энергии для всего оборудования.

Таблица 5.13. Количество потребляемой энергии оборудованием лаборатории

Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Потребляемая мощность, кВт	Количество часов работы в сутки	Количество потребляемой энергии за сутки, кВт·час
Компьютер	1	0,15	8	1,2
Весы аналитические	1	0,011	4	0,044
Вибростенд с набором сит	1	0,1	3	0,3
Люминесцентная лампа	3	0,04	8	0,96

ИТОГО: 2,5

Вторым шагом будет нахождение стоимости электроэнергии (при стоимости 2,7 кВт·час).

Таблица 5.14. Расчет стоимости электроэнергии с января по май

Месяц	Количество дней	Количество рабочих дней	Количество потребляемой энергии за месяц, кВт·час	Стоимость электроэнергии за месяц, руб (при 2,7 кВт·час)
Январь	31	17	42,6	114,93
Февраль	28	20	50,1	135,22
Март	31	20	50,1	135,22
Апрель	30	22	55,1	148,74
Май	31	19	47,6	128,46
ИТОГО:				662,6

Основная заработная плата

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) находится по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (5.3)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника; $T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.; $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата в свою очередь рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (5.4)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; $F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (табл. 5.15).

Таблица 5.15. Баланс рабочего времени за 2016 год

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистрант	Лаборант
Календарное число дней	365	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	118	118	118
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	24	-	24
Действительный годовой фонд рабочего времени	223	247	223

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_6 \cdot k_p, \quad (5.5)$$

где Z_6 – базовый оклад, руб.;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Основная заработная плата руководителя (от ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

1) оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями. Базовый оклад Z_6 определяется исходя из размеров окладов, определенных штатным расписанием предприятия.

2) стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

3) иные выплаты; районный коэффициент.

Найдем основную заработную плату за период с января по май 2016 года для руководителя:

$$Z_M = 23264,86 \cdot 1,3 = 30244,32 \text{руб.}$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{30244,32 \cdot 11,2}{223} = 1519 \text{руб.}$$

$$Z_{\text{осн}} = 1519 \cdot 98 = 148861,72 \text{руб.}$$

Аналогично для магистранта:

$$Z_M = 2500 \text{руб.}$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{2500 \cdot 11,2}{247} = 113,36 \text{руб.}$$

$$Z_{\text{осн}} = 113,36 \cdot 98 = 11109,31 \text{руб.}$$

Таблица 5.16. Расчёт основной заработной платы с января по май

Исполнители	Z_6 , руб.	k_p	Z_M , руб	$Z_{\text{дн}}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	23264,86	1,3	30244,32	1519	98	148861,72
Магистрант			2500	113,36	98	11109,31
Лаборант	14874,45	1,3	19336,79	971,17	98	95175,14

Отчисления на социальные нужды включают в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot Z_{осн}, \quad (5.6)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.), равный 30,5%.

Таблица 5.17. Отчисления на социальные нужды

	Руководитель	Магистрант	Лаборант
Зарплата, руб	148861,72	11109,31	95175,14
Отчисления на соц. нужды	45402,82	3388,34	29028,42

5.3.3 Организационная структура проекта

Из нескольких базовых вариантов организационных структур, используемых в практике, нами была выбрана проектная, которую можно изобразить следующим образом:

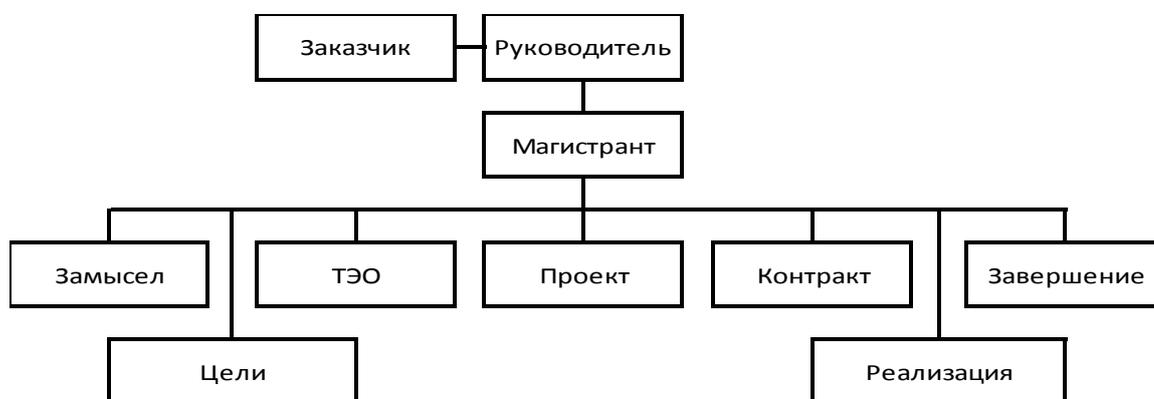


Рис. 5.3. Организационная структура проекта

5.3.4 Потенциальные риски

На пути реализации проекта могут возникнуть разного рода риски, представляющие опасность того, что поставленные цели проекта могут быть не достигнуты полностью или частично. Полностью избежать риска практически невозможно, но снизить их угрозу можно, уменьшая действие неблагоприятных факторов. Возможные риски представлены в таблице 5.18 и на рисунке 5.4

Таблица 5.18. Реестр рисков

№	Риск	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска
Технические риски					
1	Требования (заданный гранулометрический состав)	2	4	средний	Отслеживание изменений требований к продукции. Постоянный поиск путей оптимизации производства. Строгий контроль качества выпускаемой продукции, соответствие ГОСТам.
2	Эффективность и надежность (сорбционная емкость, объем пор)	2	4	средний	
4	Качество (прочность гранул)	2	4	средний	
Внешние риски					
5	Субподрядчики и поставщики	2	3	низкий	Изучение конъюнктуры рынка. Страхование имущества. Изучение изменений в российском законодательстве. Определение мер поощрений и наказаний по отношению к рабочим.
6	Предписания контролирующих органов	3	3	средний	
7	Рынок	3	4	средний	
8	Заказчик	2	3	низкий	
9	Непредвиденные обстоятельства	2	4	средний	
10	Изменения российского законодательства	4	5	высокий	
11	Небрежность и недобросовестность рабочих	2	3	низкий	
Организационные риски					
12	Организации, от которых зависит проект	2	3	низкий	Строгий контроль за работой всех вспомогательных служб. Поиск альтернативных поставщиков и инвесторов.
13	Ресурсы	2	5	средний	
14	Финансирование	3	5	высокий	
15	Расстановка приоритетов	2	3	низкий	
Риски управления проектом					
16	Оценка	2	4	средний	Ответственный подход к разработке и управлению проектом. Повышение квалификации лиц, ответственных за управление проектом.
17	Планирование	2	3	низкий	
18	Контроль	2	4	средний	
19	Коммуникации	3	3	средний	

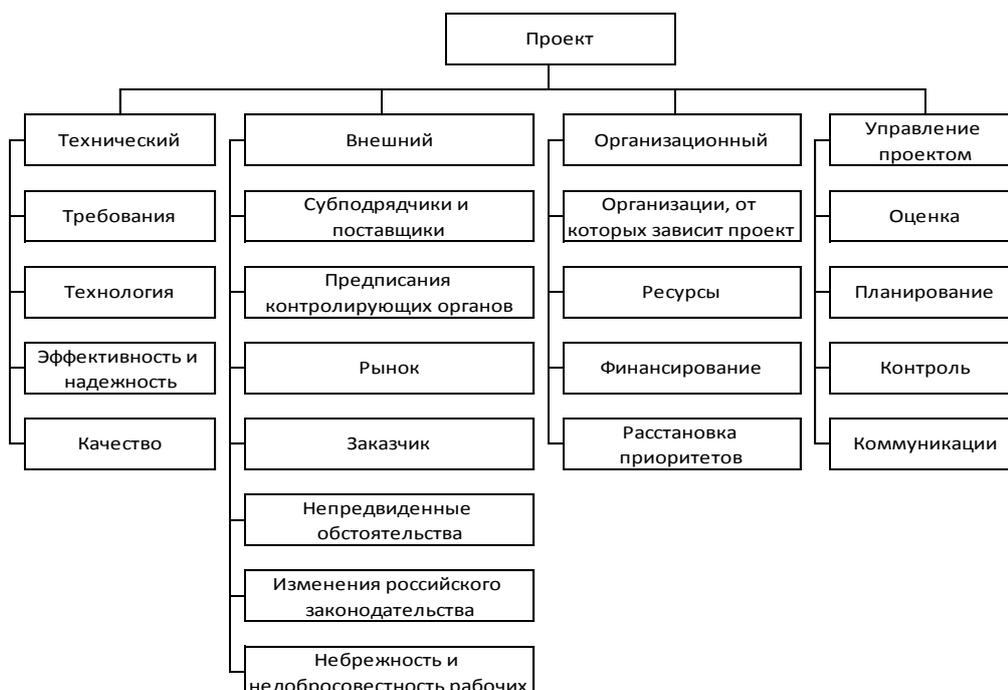


Рис. 5.4 Иерархическая структура рисков

5.4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

5.4.1 Оценка сравнительной эффективности исследования.

Чтобы определить эффективность исследования, необходимо рассчитать интегральный показатель эффективности научного исследования. Для этого определяют две средневзвешенные величины: финансовую эффективность и ресурсоэффективность.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (табл. 5.19). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} \quad (5.7)$$

где I_{ϕ}^p - интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} -

стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Таблица 5.19. Группировка затрат по статьям аналогов разработки

Вариант исполнения аналога №	Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Стоимость электроэнергетических	Основная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого плановая себестоимость
1	1000	165253,85	662,56	230895,36	70423,08	468234,85
2	1000	10677,75	662,56	296425,36	90409,73	399175,40

Найдем значения интегрального финансового показателя для всех вариантов исполнения научного исследования:

$$\text{Для нашей разработки: } I_{\phi}^p = \frac{\Phi_p}{\Phi_{max}} = \frac{344673,56}{468234,85} = 0,74$$

$$\text{Для первого аналога: } I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{max}} = \frac{468234,85}{468234,85} = 1$$

$$\text{Для второго аналога: } I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{a2}}{\Phi_{max}} = \frac{399175,40}{468234,85} = 0,85$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разы, то есть наша разработка обладает наименьшей стоимостью по сравнению с аналогами.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования определяют следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (5.8)$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов; a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i^a , b_i^p – бальная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Результат расчетов представим в виде таблицы:

Таблица 5.20. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности пользователя	0,1	5	4	3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	3	4
3. Помехоустойчивость	0,15	5	4	3
4. Энергосбережение	0,2	5	5	4
5. Надежность	0,25	5	4	3
6. Материалоемкость	0,15	5	4	3
ИТОГО	1	4,85	4,05	3,35

Интегральный показатель эффективности разработки ($I_{финр}^p$) и аналога ($I_{финр}^a$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p}, I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_\phi^a} \dots \quad (5.9)$$

$$\text{Для нашей разработки: } I_{финр}^p = \frac{4,85}{0,74} = 6,59$$

$$\text{Для первого аналога: } I_{финр}^{a1} = \frac{4,05}{1} = 4,05$$

$$\text{Для второго аналога: } I_{финр}^{a2} = \frac{3,35}{0,85} = 3,93$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a} \quad (5.10)$$

где $\mathcal{E}_{ср}$ – сравнительная эффективность проекта; $I_{финр}^p$ – интегральный

показатель разработки; $I_{финр}^a$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Таблица 5.21. Сравнительная эффективность разработки с первым аналогом

№ п/п	Показатели	Аналог 1	Разработка	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,74	0,85
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,05	4,85	3,35
3	Интегральный показатель эффективности	4,05	6,59	3,93
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,63		1,68

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволило определить, что существующий вариант решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности является наиболее приемлемым.

6 |РАЗДЕЛ « СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

В ходе получения сорбента из окси-гидроксида железа выполнялась работа с химическими веществами, работа на вибростенде с набором сит – в лабораторном помещении – в течение длительного времени, поэтому данный раздел посвящен оценке факторов труда к объему выполненной работы.

В рамках выпускной квалификационной работы (ВКР) и в соответствии с темой работы “Получение сорбентов из окси-гидроксида железа методом экструзии ” рабочим местом является лаборатория ТПУ, где и выполнялась данная работа. Рабочей зоной лаборатории считаем пространство высотой 4 м от уровня пола. Рабочее место можно считать постоянным, т.к. работающий находится на нем не менее половины рабочего времени или более двух часов непрерывно. В лаборатории установлена отопительная система.

При выполнении ВКР был использован осадок, образующийся на фильтрах станции обезжелезивания Томского водозабора и при аэрации артезианской воды. Осадок представляет собой порошок красно-коричневого цвета и аморфную форму оксигидрата железа $FeO(OH) \cdot nH_2O$, который можно использовать в качестве сорбента для восстановления сточных вод и отработанных минеральных масел

В соответствии с СП 60.13330.2012 [30], устанавливается объем производственного помещения не менее 15 м^3 на одного работника, для обеспечения нормальных условий труда.

6.1 Профессиональная социальная безопасность

6.1.1 Идентификация опасных и вредных факторов проектируемой производственной среды

Опасные и вредные факторы при получении сорбентов представлены в табл.6.1

Таблица 6.1-Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы.

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	Ф а к т о р ы (ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ) [31]		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1	2	3	4
Измельчение порошка до нужных размеров, работа на вибрационном стенде с набором сит	<i>Нарушения сердечной деятельности, расстройство нервной системы, спазмы сосудов, изменения в суставах, приводящие к ограничению подвижности, изменения в вестибулярном аппарате. Локальная вибрация, возникающая, главным образом, при работе с ручным механизированным инструментом, вызывает спазмы периферических сосудов, различные нервно-мышечные и кожно-суставные нарушения. Длительное воздействие вибрации приводит к профессиональному заболеванию – вибрационной болезни. Особенно вредными являются колебания с частотой 6 – 9 Гц, резонансной с частотой колебаний отдельных органов человека.</i>	- Электрически й ток;	-ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. [32]. - СанПиН 2.2.4.548-96. [33]. -СанПиН 2.2.1/2.1.1.127 8-03. [34]

К факторам рабочего места, которые характеризуют процесс взаимодействия трудящихся с окружающей производственной средой, отнесем метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации. В работе использовались химические реактивы, такие как раствор фенола, который ядовит, токсичен, пожаро- и взрывобезопасен. Согласно ГОСТ 12.1.007-76 [35] данные вещества относятся ко II классу опасности (высокоопасные).

6.1.2 Метеоусловия

Показателями метеорологических условий производственной среды согласно ГОСТ 12.1.005 – 89 [36] являются температура, относительная влажность и скорость движения воздуха. Негативные значения показателей микроклимата становятся причиной уменьшения производственных показателей в работе, простуды, радикулита, хронического бронхита и многих других заболеваний. Устанавливаются оптимальные и допустимые значения этих параметров с учетом избытка теплоты, тяжести выполнения работ и сезонов года. В таблице 6.2 представлены нормы показателей

метеорологических условий в рабочей зоне.

Работа в лаборатории, выполняемая в положении стоя или сидя, и требующая определенного физического напряжения, связанная с постоянной ходьбой, перемещение мелких (до 1 кг) изделий или предметов по [36] относится к физической работе (категория Па).

Таблица 6.2 – Оптимальные и допустимые параметры для рабочей зоны [36]

Период года	Категория работ	Температура, °С					Относительная влажность, %		Скорость движения, м/с	
		оптимальная	допустимая				оптимальная	допустимая, не более	оптимальная, не более	допустимая
			верхняя граница		нижняя граница					
		постоянная	непостоянная	постоянная	непостоянная					
Холодный	Па	22–23	21	23	19	17	40–60	15-75	0,2	0,1-0,3
Теплый	Па	23–25	23	27	20	18	40–60	15-75	0,3	0,2–0,4

Работа в условиях высокой температуры сопровождается интенсивным потоотделением, что приводит к обезвоживанию организма, потере минеральных солей и водорастворимых витаминов. Вызывает серьезные и стойкие изменения в деятельности сердечно-сосудистой системы, увеличивает частоту дыхания, а также оказывает влияние на функционирование других органов и систем - ослабляется внимание, ухудшается координация движений, замедляются реакции и т.д. Действие теплового излучения на организм имеет ряд особенностей, одной из которых является способность инфракрасных лучей различной длины проникать на различную глубину и поглощаться соответствующими тканями, оказывая тепловое действие, что приводит к повышению температуры кожи, увеличению частоты пульса, изменению обмена веществ и артериального давления, заболеванию глаз.

При воздействии на организм человека отрицательных температур наблюдается сужение сосудов пальцев рук и ног, кожи лица, изменяется обмен веществ. Низкие температуры воздействуют также и на внутренние органы, и длительное воздействие этих температур приводит к их устойчивым заболеваниям. Длительное воздействие высокой температуры, особенно в

сочетании с повышенной влажностью, может привести к значительному накоплению тепла в организме (гипертермии). При гипертермии наблюдается головная боль, тошнота, рвота, временами судороги, падение артериального давления, потеря сознания [37].

К средствам коллективной защиты можно отнести установки кондиционирования воздуха, основная задача которых поддерживать параметры воздуха в установленных пределах, для обеспечения надежной работы и комфортных условий для работников.

Для обеспечения допустимых норм микроклимата в рабочей зоне необходимо установить в холодный период времени отопительную систему [36].

6.1.3 Освещенность.

О важности вопросов производственного освещения в лаборатории говорит то, что условия деятельности персонала связаны с преобладанием зрительной информации. Неудовлетворительное и некачественное освещение утомляет зрение, может стать причиной его снижения, реже слепоты. Плохо освещенные участки рабочего места могут стать причиной травматизма.

Источник естественного освещения – поток энергии солнца. Естественное освещение является наиболее гигиеничным. Однако по условиям зрительной работы в лаборатории естественного освещения, как правило, недостаточно, поэтому на рабочих местах оказывается задействованным и искусственное освещение.

Оно обеспечено с помощью люминесцентных ламп ЛВ (белого цвета) мощностью 20, 40, 80 Вт. Для рабочих мест с искусственным освещением регламентирована допустимая освещенность, согласно действующим нормативным документам и выполняются следующими требованиями:

- Освещённость на рабочем месте составляет 300...500 лк
- Яркость светящихся поверхностей в поле зрения не превышает 200 кд/м².

- Отраженная блескость на рабочих поверхностях (экран, стол, приборная панель и др.) ограничена за счет правильного выбора типа светильников и расположения рабочих мест по отношению к источникам естественного и искусственного освещения. Яркость бликов на экране видеодисплейных терминалов и персональных компьютеров не превышает 40 кд/м^2 , а яркость потолка, при применении системы отраженного освещения, не превышает 200 кд/м^2 .
- Для осветительных установок общего освещения коэффициент запаса составляет $1,8-2,0$. Коэффициент пульсации не превышает 5% .
- Для обеспечения нормируемых значений освещенности в рабочих помещениях проводится чистка стекол оконных рам и светильников два раза в год и своевременная замена перегоревших ламп [38].

Расчет освещенности

Положительное воздействие на работников оказывает правильное проектирование освещения производственных помещений, способствующее повышению эффективности и безопасности труда, снижению утомляемости и травматизма, сохранению высокой работоспособности.

Лаборатория характеризуется следующими геометрическими размерами: $A = 8 \text{ м}$ – длина, $B = 6 \text{ м}$ – ширина, $H = 4 \text{ м}$ – высота. Рассчитаем систему общего люминесцентного освещения.

Размещение светильников в помещении представлено на рисунке 1.

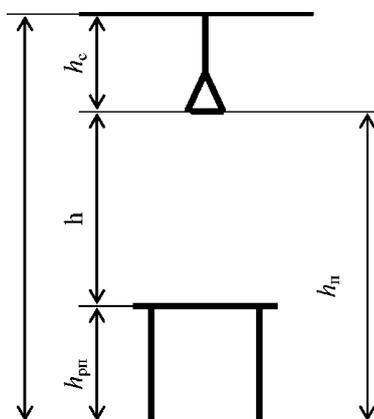


Рисунок 6.1 – Основные расчетные параметры, м: H – общая высота помещения; h_c – высота свеса светильника; h_n – высота светильника над полом; h_{pn} – высота рабочей поверхности над полом; h – высота светильника над рабочей поверхностью

В таблице 6.3 представлены основные характеристики геометрических размеров некоторых типов ламп, применяемых при освещении производственных помещений.

Таблица 6.3 – Основные геометрические характеристики светильников

Тип светильника	Количество ламп и мощность, Вт	Геометрические размеры, мм			КПД, %
		Длина	Ширина	Высота	
ШОД-2-40	2 x 40	1228	284	–	85
ШОД-2-80	2 x 80	1530	284	–	83

Примем светильник типа ШОД-2-40.

Интегральный критерий оптимальности расположения светильников $\lambda = L/h$, является важной характеристикой, при его уменьшении удорожается устройство и обслуживание освещения, а слишком большое увеличение ведет к резкой неравномерности освещения. В таблице 6.4 приведены значения интегрального критерия оптимальности расположения светильников λ для разных светильников.

Таблица 6.4 – Расположение светильников

Тип светильника	λ
Люминесцентные с защитной решеткой ШЛД, ОДР, ШОД, ОДОР	1,1 ÷ 1,3
Люминесцентные без защитной решетки типов ОДО, ОД	1,4

Принимаем $\lambda = 1,2$. Задавшись значением высоты свеса лампы, $h_c = 0,5$ м, получаем высоту светильников над рабочей поверхностью:

$$h = H - h_c - h_{pp} = 4 - 0,5 - 0,8 = 2,7 \text{ м.}$$

Тогда расстояние между светильниками:

$$L = 1,2 \cdot 2,7 = 3,24 \text{ м; } L/3 = 1,08 \text{ м.}$$

В таблице 6.5 указаны требования наименьшей высоты светильников над полом.

Таблица 6.5 – Допустимая высота подвеса светильников над полом

Тип светильника	Наименьшая допустимая высота подвеса, м
Двухламповый светильник ШЛД, ШОД	2,5

Размещаем светильники в один ряд. В нем можно установить 4 светильника типа ШОД мощностью 40 Вт (с длиной 1228 мм, шириной 284 мм), расстояние между светильниками в ряду примем 30 см. План помещения и размещение в нем светильников в масштабе представлен на рисунке 2. Т.к. в

светильнике установлено по две лампы, то общее количество ламп в помещении будет равно восьми.

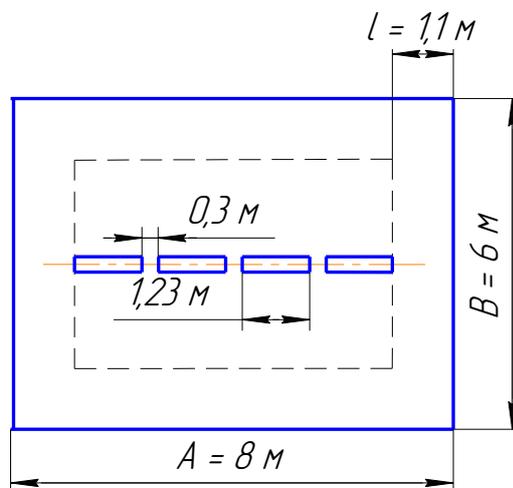


Рисунок 6.2 – Схема размещения светильников в лаборатории

Световой поток лампы определяем по формуле (1):

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{N \cdot \eta} \quad (6.1)$$

где E_n – минимальная освещенность, примем 300 лк; S – площадь помещения, m^2 ; K_z – коэффициент запаса, учитывает загрязнение светильников, примем 1,5; Z – коэффициент неравномерности освещения, примем 1,1; N – число ламп; η – коэффициент использования светового потока. Находится в зависимости от индекса помещения i , типа светильника, коэффициентов отражения потока и стен.

Найдем индекс помещения, который определяется по формуле (6.2):

$$i = S / h (A+B) \quad (6.2)$$

$$i = 48 / [2,7(8 + 6)] = 1,27.$$

По таблице 2.6 определяем η .

Примем коэффициент отражения стен $R = 50 \%$, коэффициент отражения потолка $R_{\text{п}} = 70 \%$.

Таблица 6.6 – Коэффициенты использования светового потока светильников

Тип светильника	АОД и ШОД		
$R_{\text{п}}, \%$	50	50	70
$R_{\text{с}}, \%$	30	50	50
i	Коэффициент использования, %		
1,25	37	40	43

Получаем коэффициент использования $\eta = 0,43$. Тогда световой поток лампы:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_s \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 48 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{8 \cdot 0,43} = 4950 \text{ Лм}$$

По таблице 2.7 выбираем ближайшую к рассчитанному световому потоку стандартную лампу. Выберем ЛХБ 80 Вт, $\Phi = 5000$ Лм.

Таблица 6.7 – Характеристики люминесцентных ламп

Мощность, Вт	Напряжение сети, в	Световой поток, Лм			
		ЛД	ЛХБ	ЛБ	ЛТБ
40	220	2300	2700	2800	2850
65	220	3750	4400	4600	4600
80	220	4250	5000	5200	5200

Для рассчитанного и стандартного светового потока существует определенное условие (3), выполнение которого обязательно:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{ст} - \Phi_{расч}}{\Phi_{ст}} \cdot 100\% \leq +20\% \quad (6.3)$$

Получаем:

$$-10\% \leq \frac{5000 - 4950}{5000} \cdot 100\% \leq +20\%, \text{ – условие выполнено.}$$

$$-10\% \leq 1\% \leq +20\%.$$

Тогда электрическая мощность осветительной установки:

$$P = 8 \cdot 80 = 3600 \text{ Вт.}$$

6.1.4 Шум

Шум является одним из наиболее распространенных вредных факторов на производстве, он крайне негативно влияет на здоровье человека. Длительное воздействие шума вызывает ухудшение слуха, реже приводит к глухоте, но также уменьшается внимание и увеличивается расход энергии человеком при выполнении какого – либо вида работ.

Согласно ГОСТ 12.1.003 – 83 [39], нормируемой шумовой характеристикой рабочих мест при шуме являются уровни звуковых давлений в децибелах в октановых полосах. В таблице 6.8 приведены допустимые уровни звукового давления на рабочем месте.

Для рабочего места характерно наличие шумов: установки кондиционирования создают аэродинамический шум, преобразователи

напряжения – электрический.

Таблица 6.8 – Допустимы уровни звукового давления на рабочем месте

Вид деятельности	Частота, Гц							
	Уровень звукового давления, дБ							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Научная деятельность, проектирование	71	61	54	49	45	42	40	38

В соответствии с ГОСТ 12.1.003 – 83 должны проводиться работы по снижению шума в помещениях лаборатории. Для подобных целей используются шумобезопасная техника, звукоизоляция, звукопоглощение, рациональная планировка помещения и т.д.

6.1.5 Защита от опасных и вредных веществ

Для обеспечения безопасности технологических процессов в соответствии с ГОСТ 12.3.002–75 [40] и СП 2.2.2.1327-03 [41] принимаются меры предупреждения аварийных ситуаций.

В лаборатории необходимо создать приток свежего воздуха. Воздух, который используется для вентиляции лаборатории, должен быть очищен от пыли. Пыль, выделяемая при производстве и применении магнизиальных вяжущих по степени воздействия на организм человека относится к IV классу опасности ([35], [37]). ПДК пыли используемого порошка в воздухе рабочей зоны производственных помещений не должна превышать 10 мг/м³ [36].

Повышенная запыленность воздуха рабочей зоны представляет угрозу для здоровья человека. В запыленном воздухе дыхание становится затрудненным, насыщение крови кислородом ухудшается, что предрасполагает к легочным заболеваниям.

Пыль, попадающая на слизистые оболочки глаз, вызывает их раздражение, конъюнктивит. Оседая на коже, пыль забивает кожные поры, препятствуя терморегуляции организма, и может привести к дерматитам, экземам. Продолжительное действие пыли на органы дыхания может привести к профессиональному заболеванию-Пневмокониозу. Наряду с пневмокониозом,

наиболее частым заболеванием, вызываемым действием пыли, является бронхит [31,37]

Для защиты персонала от воздействия возможных опасных и вредных производственных факторов необходимо использовать средства защиты для персонала. Работа с вредными и опасными химическими реактивами проводится в специальных помещениях, оборудованных вытяжными шкавами. В соответствии с законодательством Российской Федерации, рабочие и служащие, связанные по роду своей деятельности с вредными и опасными условиями труда, должны в обязательном порядке проходить медицинский осмотр. В производственных помещениях следует иметь аптечки, укомплектованные медикаментами, для оказания первой доврачебной помощи.

Согласно п. 1.1.2 ГОСТ 12.1.005–88 [37] вещества, используемые в технологических процессах, проводимых в данной работе, могут быть классифицированы как химически опасные и вредные. В таблице 6.9 представлены токсичные вещества, их свойства и особенности:

Таблица 6.9 Предельно допустимые концентрации веществ и их свойства

Вещество	Величина ПДК, мг/м ³	Преимущественное агрегатное состояние в условиях производства	Класс опасности	Особенности действия на организм
Метил-целлюлоза	10	аэрозоль	4	
фенол	0,3	Пар/газ	2	Канцерогены
карбоксиметилцеллюлоза	10	аэрозоль	3	
Глиоксаль	1,5	жидкость	3	вещества, способные вызывать аллергические заболевания в производственных условиях
Полиакриламид	10	коллоидный раствор	4	

Уровень ПДК не превышает значений, указанных в табл. 6.9, так как при создании гранулированного сорбента экструзионным методом применяются необходимые средства защиты органов дыхания (все работы с растворами идут в вытяжном шкафу с включенной вентиляцией). Вентиляция включается за 30

минут до начала работы и выключается в конце рабочего дня.

6.2. Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению (техника безопасности)

6.2.1 Электробезопасность

Электробезопасность установок, к которым относится оборудование, представляют предмет особого внимания.

Влияние тока на человеческий организм можно описать с позиции:

- 1) термического действия – вызывает ожоги, нагрев внутренних тканей;
- 2) электролитического действия – характеризуется разложением органических жидкостей (крови);
- 3) механического действия – характеризуется разрывом тканей, перелом костей;
- 4) биологического действия – раздражение и возбуждение живых тканей в организме, нарушение внутренних биоэлектрических процессов и т.д.

Строгое выполнение организационных и технических мероприятий при проведении работ с электроустановками, очень важно в целях предупреждения электротравматизма, кроме этого используют средства защиты, к которым относятся: электрическая изоляция токоведущих частей, защитное заземление и отключение, электрическое разделение сети. Использование этих средств позволяет обеспечить защиту людей от прикосновения к токоведущим частям, от опасности перехода напряжения к металлическим нетоковедущим частям, от шагового напряжения.

Преднамеренное соединение с землей металлических нетоковедущих частей, которые могут оказываться под напряжением, называют защитным заземлением [42]. Чтобы защитить человека от поражения электрическим током, защитное заземление должно удовлетворять ряду требований, изложенных в ПУЭ и ГОСТ 12.1.030 – 81[43]. Эти требования зависят от напряжения электроустановок и мощности источника питания.

Особое внимание необходимо уделять защите от статического

электричества. Для его снижения применяют специальное покрытие полов, которое выполнено из линолеума антистатического поливинилхлоридного. К другому методу защиты можно отнести нейтрализацию зарядов ионизированным воздухом.

Безопасность обслуживающего персонала и посторонних лиц в лаборатории должна обеспечиваться выполнением следующих мероприятий:

1. соблюдение соответствующих расстояний до токоведущих частей или путем закрытия;
2. ограждения токоведущих частей;
3. применение блокировки аппаратов и ограждающих устройств для предотвращения ошибочных операций и доступа к токоведущим частям;
4. применение предупреждающей сигнализации, надписей и плакатов;
5. применение устройств для снижения напряженности электрических и магнитных полей до допустимых значений;
6. использование средств защиты и приспособлений, в том числе для защиты от воздействия электрического и магнитного полей в электроустановках, в которых их напряженность превышает допустимые нормы [45].

6.2.2 Пожаровзрывобезопасность

Технические и организационные меры по предотвращению пожара или взрыва и противопожарной защите осуществляются в соответствии с Федеральным закон от 22 июля 2008 г. N123-ФЗ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности инструмента и ГОСТ 12.1.010–76 [44].

В соответствии со ст. 26 Федеральный закон от 22 июля 2008 г. N123-ФЗ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [44] лабораторное помещение относится к категории А – повышенная пожаровзрывоопасность.

С целью предупреждения и локализации пожаров и взрывов проводятся противопожарные мероприятия:

- во избежание пожароопасной ситуации проводится систематический осмотр оборудования и электрических цепей;
- в лаборатории находится необходимый набор первичных средств пожаротушения: ящик с сухим песком, асбестовое одеяло, ручной углекислотный огнетушитель типа ОП – 4, вода;
- для обнаружения пожара, оповещения и эвакуации людей установлена система пожарной сигнализации;
- разработан план эвакуации, с которым ознакомлены сотрудники лаборатории.

6.3 Экологическая безопасность

Деятельность получения сорбентов методом экструзии не связана с выбросом вредных веществ, следовательно, выбросов в атмосферу и литосферу нет. При измельчении порошка образуется пыль. Вдыхание воздуха с повышенной концентрацией пыли приводит к раздражению носовой полости. Что касается сбросов в гидросферу, то канализационные стоки от деятельности сбрасываются в общегородскую канализацию.

В случае поломки основного оборудования лаборатории – электроприборов, оргтехники и т.д, не подлежащей ремонту, их должны рационально складировать и провести захоронение отходов, обезвреживание и их утилизацию.

Для случая люминесцентных ламп, необходимо заключить договор с фирмой, занимающейся их утилизацией, чтобы своевременно поставлять вышедшие из строя или перегоревшие лампы, с целью уменьшения вреда окружающей среды из за наличия в лампах такого опасного вещества, как ртуть.

6.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – это неожиданная, внезапно возникшая обстановка на определенной территории или объекте в результате аварии, катастрофы, опасного природного явления или стихийного бедствия, которые могут привести к человеческим жертвам, ущербу здоровью людей или

окружающей среде, материальным потерям и нарушению условий жизни людей.

Техногенные ЧС связаны с техническими объектами. К ним относят: взрывы, пожары, аварии на химически опасных объектах, выбросы радиоактивных веществ, на радиационно – опасных объектах, обрушение зданий, аварии на системах жизнеобеспечения и др.

Своевременное и грамотное использование средств защиты является эффективной защитой человека в ЧС. К средствам защиты относят средства индивидуальной защиты (СИЗ) и коллективные средства защиты (КСЗ).

По назначению СИЗ классифицируют для защиты органов дыхания и кожи, а по принципу действия на фильтрующие и изолирующие.

Для защиты от поражающих факторов ЧС, используются КСЗ. К поражающим факторам относят высокие температуры, вредные газы при пожаре, взрывоопасные, радиоактивные, сильнодействующие ядовитые и отравляющие вещества; ударная волна.

В результате каких – либо неисправностей оборудования может возникнуть аварийная ситуация. Создание лаборатории, размещенной в высотном здании, с большим штатом работающих, придает значение вопросам вынужденной эвакуации из них людей при пожаре и в ситуациях иного рода.

Одной из основных причин гибели людей при пожаре является ни огонь и температура, а токсичные продукты горения. Поэтому противодымная защита зданий, направленная на не задымлённость эвакуационных путей, отдельных помещений и удаление продуктов горения в определенном направлении, является первостепенной задачей противопожарной профилактики. В надлежащих местах должны быть вывешены планы эвакуации людей из здания.

Стихийные бедствия возникают внезапно и характеризуются возможностью гибели людей, возможностью разрушения населенных пунктов и объектов народного хозяйства. В климатической зоне г.Томска возможны ураганы, сильные грозы, паводки и ливни. Т.к. химический корпус находится в отдаленной зоне от разлива реки, то паводок ему не грозит.

В результате порывов ветра могут быть обрывы линий электропитания, из – за чего возможны перебои в электроснабжении; перегрузки, которые могут стать причиной пожара. Для предотвращения подобных ситуаций необходима организация системы аварийного электропитания, по возможности проведение линии электроснабжения под землей.

Мероприятия, проводимые во время чрезвычайных ситуаций (аварий, стихийных бедствий, военных конфликтов), представляют собой проведение спасательных работ и неотложных аварийно-восстановительных работ в очаге поражения. Данные мероприятия должны проводиться на основании положения комплекса государственных стандартов по предупреждению и ликвидации чрезвычайной ситуации и определены в [45].

Для химической лаборатории аварийной ситуацией может являться пролив вне вытяжного шкафа небольшого количества токсических жидкостей, особенно имеющих низкие значения ПДК. Во избежание отравления ядовитыми парами необходимо воспользоваться противогазами, которые находятся на видном месте рабочего помещения.

Стихийными бедствиями, характерными для Томской области, могут быть наводнения, провалы грунта и снежные заносы.

Во время военных конфликтов приводятся в боевую готовность формирования гражданской обороны. При угрозе нападения по радиотрансляционной сети передают сигналы «Воздушная тревога», «Отбой воздушной тревоги», «Радиационная опасность» и «Химическая тревога».

6.5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

6.5.1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

Разработка ВКР занимает немало времени, но в тоже время она совмещена с учебным процессом студента. В связи, с чем по трудовому законодательству Российской Федерации было принято допущение, что выполнение ВКР считается за работу по совместительству, т.е. не более 4 часов

в день или 20 часов в неделю при пятидневном графике работы.

Работа в лаборатории не относится к вредной, поэтому не предусматривается никаких компенсаций, применение спецпитания и особого лечебно-профилактического обслуживания. Также работники не привлекаются ни к работе в ночное время, ни к сменному графику работы. Все работники без исключения подлежат обязательному медицинскому страхованию, пенсионному обеспечению.

С точки зрения охраны окружающей среды, выполнение работы на тему “Получение сорбентов из окси-гидроксида железа методом экструзии”, не оказывает никакого влияния на окружающую среду и нет необходимости в его контроле со стороны служб производственного контроля санитарных правил, норм, и служб общественного экологического контроля.

Для решения вопросов о чрезвычайных ситуациях, создана комиссия, которая занимается финансовыми, продовольственными, медицинскими и информационными проблемами, связанными с возникновением чрезвычайной ситуации.

6.5.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Производственные помещения проектируются в соответствии с требованиями Федерального закон от 30 декабря 2009 г. N384-ФЗ Технический регламент о безопасности зданий и сооружений [46] и [47].

Геометрические размеры зоны, досягаемости моторного поля на рабочих местах в лаборатории определяются требованиями ГОСТ 12.2.032 [48] и ГОСТ 12.2.033-78 [49].

Помещения оборудованы системами отопления, кондиционирования воздуха или эффективной приточно-вытяжной вентиляцией. Расчет воздухообмена проводится по теплоотдаче от машин, людей, солнечной радиации и искусственного освещения. Системы вентиляции и отопления в лабораторном помещении обеспечивают параметры микроклимата в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.005—88 [37].

ВЫВОДЫ

1. Показана возможность вовлечения в производство вторичного сырья, и установлена принципиальная возможность получения экструзионным методом гранул сорбента из отходов производства.
2. Подобран оптимальный режим гранулирования с различными связующими жидкостями: карбоксиметилцеллюлозой (КМЦ), метилцеллюлозой (МЦ), глиоксалем, полиакриламидом (ПАА) и жидким стеклом с концентрациями от 0,1 до 2 % (мас.). Оптимальное массовое соотношение твердой фазы и связующей жидкости составляет Т: СЖ = 1: 0,4–0,6.
3. Исследованы физико-химические и физико-механические свойства гранул (суммарный объем пор и прочность на раздавливание), высушенных при 20 °С в течение определенного времени.
4. Использование в качестве связующей жидкости ПАА и КМЦ позволило получить сорбент с более высокими прочностными характеристиками. При этом концентрация связующей жидкости варьировалась от 0,1 до 2 % (масс.). Наиболее эффективным связующим является 2 % раствор ПАА.
5. Выдерживание гранул после формования приводит к их упрочнению и увеличению суммарного объема пор, что является одним из важных показателей для сорбентов.

СПИСОК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Олчоновой Сынару Юрьевны

№	Наименование научного труда	Рукописн. или печ.	Издательство, журнал (номер, год)	Номер стр.	Кол-во стр.	Фамилии соавторов
1	Выбор способа гранулирования сорбентов из отходов производства	Печ.	Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Химия и химическая технология в XXI веке». – Томск, 2013. – Т. 1.	15–17		Вахрамеева Н.В., Олчоновая С.Ю., Якушева Ю.С.
2	Утилизация вторичных отходов	Печ.	Сборник тезисов 2-й Всероссийской Интернет-конференции «Грани науки 2013». – Казань: СМУиС, 2013	896–897		Шевченко А.А., Вахрамеева Н.В., Олчоновая С.Ю.
3	Получение сорбентов из вторичного сырья	Печ.	Материалы XVIII Международной экологической студенческой конференции «Экология России и сопредельных территорий» МЭСК-2013. – Новосибирск, 2013.	104		Шевченко А.А., Вахрамеева Н.В., Олчоновая С.Ю.
4	Получение сорбентов методом экструзии	Печ.	Материалы XV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Химия и химическая технология в XXI веке». – Томск, 2014. – Т. 1.	72–73		Олчоновая С.Ю.
5	Получение сорбента из отходов производства	В печ.	Материалы XVII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Химия и химическая технология в XXI веке». – Томск, 2016. – Т. 2.		2	
6	Получение сорбента из отходов производства	В печ.	Труды XX Международного научного симпозиума студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. – Т. II		2	

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Курочкин В.Ю. Катализатор конверсии оксида углерода водяным паром на основе соединений типа перовскита и шпинели /диссертация кандидата технических наук.- Иваново, 2008.- 182 с.
2. Ильин А.П., Прокофьев В.Ю. Физико-химическая механика в технологии катализаторов и сорбентов : Монография / Иван. гос. хим.-технол. ун-т. Иваново, 2004. с. ISBN 5-9616-0049-1.
3. Климов Е. С., Бузаева М.В. Природные сорбенты и комплексоны в очистке сточных вод. – Ульяновск: УлГТУ, 2011 г. – 201 с. (электронная)
4. Дубинин М.М. Адсорбция и пористость. – М.: ВАХЗ, 1972. – 127 – С.4.
5. Прокофьев, Валерий Юрьевич. Механохимия и экструзионное формование в технологии катализаторов и сорбентов /диссертация доктора технических наук.- Иваново, 2012.- 190 с.
6. Бабенко С.А., Семакина О.К., Миронов В.М., Чернов А.Е. Гранулирование дисперсных материалов в жидких средах (Элементы теории, практика, перспективы применения)/Под ред. С.А. Бабенко. – Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН, 2003. – 346 с.
7. Колесников И.М. Катализ и производство катализаторов. – М.: Изд-во «Техника», ТУМА ГРУПП, 2004. – 400 с.
8. Боресков Г.К. Значение катализа в современной промышленности // Сб.: Катализаторы и каталитические процессы. – Новосибирск, 1977. – С.5–28.
9. Карпенко, Андрей Вадимович. Использование отходов полимерных материалов при производстве сорбентов для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов и нефтепродуктов /диссертация кандидата технических наук.- Саратов, 2013.
- 10.Кругляков, Василий Юрьевич. Железооксидный катализатор блочно-сотовой структуры для процесса окисления аммиака и технология его приготовления /диссертация кандидата технических наук.- Новосибирск 2010.

- 11.Бабенко С.А., Семакина О.К. Поверхностные явления и процессы на их основе в гетерогенных системах с твердой фазой // Учебное пособие. –Томск: Изд. ТПУ, 2002. – 110с.
12. Остроушко А.А. Методические указания к изучению дисциплины защита атмосфера от выбросов токсичных веществ /доктор химических наук- Екатеринбург, 2007 –С. 39.
- 13.Абрамзон А.А., Головина Н.Л., Зайченко Л.П.. Закономерности адгезии жидкостей к твердым поверхностям // Коллоидный журнал, 1978. – Т. 40. – № 6. – С. 1161–1164.
- 14.Иконников В.Г., Тительман Л.И., Данциг Г.А. и др. Опыт приготовления и промышленной эксплуатации окисно-цинковых формованных поглотителей сернистых соединений // Хим. пром. 1983. № 9. С. 537-540.
- 15.Соколов Р.Б. Теория формования сплошных и неоднородных систем. Л.: Изд-во ЛТИ им. Ленсовета, 1978. 40 с.
- 16.Фадеева В.С. Формуемость пластичных дисперсных масс. М.: Госстройиздат,1961. – 126 с.
- 17.Фадеева В.С. Формирование структуры пластичных паст строительных материалов при машинной переработке. М.: Госстройиздат, 1972. 224 с.
- 18.Балкевич В.Л., Мосин Ю.М. Реологические свойства керамических масс. М.: Моск. хим.-технол. ин-т им. Д.И. Менделеева, 1983. 68 с.
- 19.Прокофьев В.Ю., Ильин А.П., Широков Ю.Г., Юрченко Э.Н. Выбор оптимальных свойств формовочных масс для экструзии блочных носителей и катализаторов сотовой структуры// Журн. прикл. химии. 1995. Т. 68, вып. 4. С. 613-618.
- 20.Ильин А.П., Кириллов И.П., Широков Ю.Г. Выбор оптимальных условий приготовления формованного катализатора-хемосорбента на основе оксидов цинка и алюминия // Изв. вузов, сер. Химия и хим. техн-я. 1979. Т. 22, вып. 2. С. 246-248.

- 21.Чарикова О.Г., Мосин Ю.М., Костюченко В.В., Михайличенко А.И. Влияние конструкционного материала фильер на свойства ванадиевых серноокислотных катализаторов // Стекло и керамика. 1999. № 5-6. С. 30-33.
- 22.Старостина Н.Г., Беспалов А.Г., Равичев Л.В., Логинов В.Я. Физико-механические свойства алюмооксидной катализаторной массы (внутренне трение) // Хим. пром-сть. 2001. № 7. С. 33-37.
- 23.Пьянков Ф.А., Фазлеев М.П., Шакиров Н.В., Добрынин Г.Ф. Течение керамических масс при экструзионном формовании носителей и катализаторов сотовой структуры // В сб.: Блочные носители и катализаторы сотовой структуры. Материалы II Совещания. Новосибирск: ИК РАН, 1992. С. 23-29.
- 24.О.К. Семакина, В.П. Игашева, А.А. Шевченко. ПОЛУЧЕНИЕ СОРБЕНТОВ МЕТОДОМ ЭКСТРУЗИИ / статья // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции имени профессора Л.П. Кулева студентов и молодых ученых с международным участием: в 2 т., Томск, 14-17 Мая 2012. - Томск: ТПУ, 2012 - Т. 1 - С. 143
- 25.Каменчук Я.А. Отработанные нефтяные масла и их регенерация/Автореф. на соискание уч. степ. канд. хим. наук. – Томск, 2006. – с. 24.
- 26.Роговин З. А., Химия целлюлозы, метилцеллюлоза, 1972, с. 370-87;
- 27.Целлюлоза и ее производные, под ред. Н. Байклза и Л. Сегала, пер. с англ., т. 1, метилцеллюлоза, 1974, с. 419, 475-78; т. 2, с. 103-15;
- 28.Химическая энциклопедия [Электронный ресурс] / Полиакриламид – Режим доступа: <http://dic.academic.ru>, свободный. – Загл. с экрана. – яз. рус.
- 29.Георгадзе А.Г., Елашвили М.И., Плетнев А.Н. и др. Повышение качества брикетированного. – Литье и металлургия. – 2013. – № 1. – С. 22– 25
- 30.СП 60.13330.2012- Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.
- 31.ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ Опасные и вредные факторы производства. Классификация.

- 32.ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ Оборудование производственное. Общие требования
- 33.СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
- 34.СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003
- 35.ГОСТ 12.1.007-76 Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности
- 36.ГОСТ 12.1.005– 89. Общие санитарно – гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М. – Стандартинформ. – 2008. – 49 с.
- 37.ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
- 38.СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение
- 39.ГОСТ 12.1.003 – 83 Шум. Общие требования безопасности
- 40.ГОСТ 12.3.002–75 Система стандартов безопасности труда. Процессы производственные. Общие требования безопасности
- 41.СП 2.2.2.1327-03 Гигиенические требования к организации технологических процессов, производственному оборудованию и рабочему инструменту.
- 42.ГОСТ 12.1.009 – 76 Электробезопасность. Термины и определения.
- 43.ГОСТ 12.1.030– 81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
- 44.ГОСТ 12.1.010–76 Взрывобезопасность. Общие требования.
- 45.ГОСТ Р 22.0.01-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения [Текст]. - введ. 01.01.1995.- М.: Издательство стандартов, 1994. – 11 с.
- 46.Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. N384-ФЗ Технический регламент о безопасности зданий и сооружений [Электронный ресурс].- Режим доступа [www.URL: http://www.rg.ru/2009/12/31/tehreg-zdaniya-dok.html](http://www.rg.ru/2009/12/31/tehreg-zdaniya-dok.html)

- 47.СНиП 2.09.04.87* Административные и бытовые здания [Электронный ресурс].-Режим доступа www.URL: <http://www.complexdoc.ru/ntdtext/388922>
- 48.ГОСТ 12.2.032-78. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования введ. 01.01.1979.- М.: Стандартинформ, 2003. – 9 с.
- 49.ГОСТ 12.2.033-78. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.-введ. 01.01.1979.- М.: Стандартинформ, 2003. – 9 с.
- 50.Yang, R.T. Adsorbents: Fundamentals and Applications; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, 2003.
- 51.Thomas, W.J.; Crittenden, B. Adsorption Technology & Design; Butterworth Heinemann: Oxford, 1998; 8–30.
- 52.Patrick, J.W., Ed. Porosity in Carbons: Characterization and Applications; Halsted Press, an imprint of John Wiley and Sons: London, 1995.
- 53.Bansal, R.C.; Donnet, J.-B.; Stockli, F. Activated Carbon; Marcel Dekker, Inc.: New York, 1988.
- 54.Электронный ресурс: - Режим доступа www.URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Activated_carbon
- 55.Электронный ресурс: - Режим доступа www.URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Silica_gel

Приложение А

Раздел (1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.4.1)

(Вещества, используемые в качестве сорбента; промышленные сорбенты и их применение; химические, физические и механические свойства; требования, предъявляемые к формируемой массе; содержание связующей жидкости)

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ4В	Олчонова Сынару Юрьевна		

Консультант кафедры ОХХТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преп. кафедры ОХХТ	Усольцева Н.В.			

Консультант-лингвист кафедры ИЯПР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ИЯПР	Сыскина А.А.			

1.1. Substances used as a sorbent.

Sorbents - liquids or solids, selective absorbing (sorbing) of ambient vapors, gases and dissolved substances. Depending on the type of sorption adsorbents are distinguished - body absorbing material on the surface (chemical absorbers, which bind the absorbed substance, engaging with them in a chemical reaction) and absorbents - body, forming a substance absorbed liquid or solid solution. Major solid sorbents - active carbons, alumina, silica gel, ion exchange resins, zeolites. The main types of adsorbents are:

- 1) a surface porous sorbents, which are impermeable to the solvent, a solid core made of glass, which is brought to the surface, a thin layer of a porous absorbent, typically silica
- 2) porous polymer-based sorbents
- 3) porous silica-based sorbents
- 4) porous sorbents based on aluminum oxide.

The sorbents are divided into:

- natural
- organic
- inorganic
- organo
- Synthetic.

Natural sorbents is a unique material that allows you to clean a variety of environments (air space, water, sewage) of toxic substances, including heavy metals, radionuclides. They are successfully used in various processes in the manufacture of paper and paperboard products, rubber products, cement, transformer oil, food products (manufacture of sugar, wine and spirits), the pharmaceutical industry and even in many processes.

In the world there are many fields with multi-million dollar inventory of various effective sorbents. First of all, clay materials: montmorillonite and their varieties - saponite, Natrona, falcons, and other clays. Products of natural sorbents are used for the absorption of radioactive and toxic substances (primarily radioactive

nuclear waste), drying and purification of natural and industrial gases including flue gases; purification of drinking water and waste water in various industries and in agriculture; clearing of mineral and edible oils and fats cleaning oil refining products (regeneration of transformer oil).

The quality of sorbents is determined by indication of their capacity with respect to the oil indicator buoyancy after oil sorption degree of impermeability to water, as well as the possibility of stripping oil recycling or sorbent regeneration.

For inorganic sorbents include:

- Diatomaceous rock (loose diatomite - diatomaceous earth)
- Various kinds of clay, sand, pumice, tuff, zeolite, perlite, etc.

It is worth noting that diatomite and clay occupy most of the market of sorbent materials, since they have low cost and the greatest production in large volumes. It is also often used sand. It is convenient to fill small areas of oil spills. However, from the viewpoint of environmental quality of inorganic sorbents is not entirely acceptable because due to the low capacity indicator (70-150% oil) they are unable to hold petrol, diesel, and kerosene. And in the process of eliminating the consequences of accidents and oil spills in the aquatic environment with oil inorganic sorbents can be used that will further exacerbate the issue of water decontamination. The optimal solution of this problem is the utilization of the sorbents by burning off and washing with water with a surfactant or extractants.

Synthetic sorbent material is most often used in countries with highly developed petrochemical industry, such as the EEC countries, America and Japan. Synthetic type sorbents are made of polypropylene fibers by forming nonwoven webs. For these purposes polymeric molded polyethylene fillers are widely used, polyurethane in granular or spongy form, as well as other types of fibers. Note that the fibrous sorbents are combustible, ie fire and explosive.

For there is a sufficient number of sorbents for oil products collection global market, diesel fuel, fuel oil, grease or oil, but not all of them can provide the necessary security, quality, and usability. For example, the sorbent diesel fuel, fuel oil, oil does not burn by itself, reducing the ignition temperature, consequently the

use of sorbent-based, padding polyester, sawdust, foam, moss creates a fire hazard. There are some toxic substances, which corrode the sorbent structure that is also not acceptable. Many important attributes of quality are further utilization of the sorbent. Typically, recovery process is carried out by incineration. However, the incineration process is possible only for the sorption substances, which are absorbing the oil, crumbly and do not form bunches. Polypropylene does not possess These properties of sorbents based on synthetic polymers, carbon fiber, foam. When heated, melted, forming clumps and clog the feeding installation system makes it difficult to recycle. As the adsorbents are used successfully grained solid materials, which have a developed porous structure expressed by the adsorption selectivity and greater activity. Activity is man amount of the adsorptive, that is absorbed by a unit mass (surface) adsorbent. It should be remembered that during production, the adsorbents should be expensive, mechanically strong, do not react chemically with the substances that are absorbed and well succumb to repeated regeneration, without destroying its shell and without losing their sorption parameters.

Sorbed substances can be crystalline substances and dried gels. Gels are formed due to condensation (concentration) of colloidal solutions, in which the colloidal particles come together, interact and form a relatively stable spatial structures - lattice. Dried gels have areas with fields and not compensated exhibit adsorption capacity for gases and vapors, as well as to swell when immersed in a liquid or a couple - the greater than the elastic mesh gel.

Alumina gels have similar properties, but their activity is somewhat lower than silica. This substance is with fine structure, limited swelling in aqueous solutions.

There are 2 types of synthetic sorbents:

- Hydrophobic;
- Non-hydrophobic.

The positive features of both types of adsorbents include a high level of absorption properties, ease of collection after use, as well as the possibility of multiple use after mechanical pressing.

Organic-organic and natural sorbent material. To eliminate the effects of oil

pollution, this type of sorbent is best suited as the basis for products are such materials as modified peat, waste paper, sawdust, wood chips, wool, dried cereals. However, the best mineral sorbents are considered sorbents made on the basis of sphagnum moss. This type of sorbent does not violate the ecological balance and achieve optimal purity. Advantages of this type of sorbents are based on the fact that regardless of the low temperatures when used on a solid surface or on water, the sorbent does not lose its properties, it is completely safe for the environment, animals and people.

Depending on the type of filler, all sorbing substances are divided into three main groups:

- Oil sorbents (best suited for collecting oil in those areas where water may be). They are made of inert synthetic fibers, especially polypropylene and polyester and polypropylene fibers. This group of sorbents has very little weight and does not contain dust. The high absorption capacity reduces the amount of waste. Some of this group have sorbents antistatic coating of polypropylene and are packed into a special antistatic film.
- Technical maintenance sorbents (for collecting oil and other industrial fluids). Sorbents made from the group of inert synthetic fibers, preferably polyester and polypropylene fibers. They are available in different formats. Advantages of this group of adsorbents are that they greatly reduce the risk of contamination of the finished product, the risk of damage to expensive equipment, and significantly reduce the amount of waste. However, be aware that the sorbents maintenance products must not be used to absorb aggressive liquids.
- Chemical sorbent material (used for the collection of hazardous liquid spills). inert, synthetic fibers (mostly polypropylene fibers) are used for the manufacture of chemical sorbents. These sorbents are available in a wide range of different formats. Chemical Sorbents are the ideal solution for the collection of spills of hazardous liquids. These sorbents are available in a variety of formats, including kits for rapid response in emergency spills. They provide a high absorption capacity and can even be used to collect corrosive acids and alkalis. The advantages of chemical sorbents

include rapid and effective localization and removal of spill, the large number of chemicals.

Among sorbent materials are distinguished, such as:

- Basic sorbent

These include absorbent polypropylene - a nonwoven material, the thinnest thread of which is interconnected by means of a high-speed stream of hot air. It is primarily designed to absorb all the chemicals in the water and the land.

- Quilted absorbent

This is a basic type of sorbent, quilted polypropylene thread. Thus, it becomes mechanically durable, at the same time maintained the level of absorbency.

- Absorbent, welded ultrasonically

This is more wear-resistant absorbents. It is made by means of ultrasound, is used usually for absorbing liquids from chemically hazardous ground.

- Wear absorbent.

Polypropylene absorbent as produced by ultrasound, but it is additionally perforated, which ensures its safety from rapid wear and erasure. It is used in places where a large concentration or movement of people.

1.2 Commercial sorbents and applications

Commercial sorbents that have been used in large-scale adsorptive separation and purification processes include activated carbon, zeolites, activated alumina, silica gel, and polymeric adsorbents. Although the worldwide sales of sorbent materials are relatively small as compared with other chemical commodities, sorbents and adsorption processes play a very important role in many process industries. The estimated worldwide sales of these sorbents are as follows [50]:

- Activated carbon: \$1 billion
- Zeolite: \$1.07 billion
- Activated alumina: \$63 million
- Silica gel: \$71 million
- Polymeric adsorbents: \$50 million

Activated Carbon

Activated carbons are unique and versatile adsorbent because of their large surface area, microporous and mesoporous structure, universal adsorption effect, high adsorption capacity for many nonpolar molecules including organic molecules, and high degree of surface reactivity. They are used widely in industrial applications that include decolorizing sugar solutions, personnel protection, solvent recovery, volatile organic compound removal from air and water, water treatment, hydrogen and synthesis gas separation, and natural gas storage [51,52,53]. Activated carbons are produced in two main steps: carbonization of the carbonaceous raw materials at temperatures below 800C in the absence of oxygen, and activation of the carbonized products [53]. The properties of activated carbon depend largely on the nature of the raw materials, the activating agents and activation conditions. For gas-phase applications, activated carbons are usually made in pellets with mostly micropores; while for liquid-phase applications, activated carbon is produced in powder form with relatively large mesopores to enhance mass transfer rate in the carbons.

Activated carbons are complex products which are difficult to classify on the basis of their behaviour, surface characteristics and preparation methods. However, some broad classification is made for general purpose based on their physical characteristics.

1. Powdered activated carbon (R 1) (PAC)

Traditionally, active carbons (R 1) are made in particulate form as powders or fine granules less than 1.0 mm in size with an average diameter between 0.15 and 0.25 mm. Thus they present a large surface to volume ratio with a small diffusion distance. PAC is made up of crushed or ground carbon particles, 95–100% of which will pass through a designated mesh sieve. activated carbon is defined as the activated carbon (R 1) retained on a 50-mesh sieve (0.297 mm) and PAC material as finer material, while ASTM classifies particle sizes corresponding to an 80-mesh sieve (0.177 mm) and smaller as PAC. PAC is not commonly used in a dedicated vessel, due to the high head loss that would occur. PAC is generally added directly to other process units, such as raw water intakes, rapid mix basins, clarifiers, and gravity

filters.

2. *Granular activated carbon (GAC)*

Granular activated carbon has a relatively larger particle size compared to powdered activated carbon and consequently, presents a smaller external surface. Diffusion of the adsorbate is thus an important factor. These carbons are therefore preferred for all absorption of gases and vapors as their rate of diffusion are faster. Granulated carbons are used for water treatment, deodorization and separation of components of flow system and are also used in rapid mix basins. GAC can be either in granular or extruded form. GAC is designated by sizes such as 8×20, 20×40, or 8×30 for liquid phase applications and 4×6, 4×8 or 4×10 for vapor phase applications. A 20×40 carbon is made of particles that will pass through a U.S. Standard Mesh Size No. The most popular aqueous phase carbons are the 12×40 and 8×30 sizes because they have a good balance of size, surface area, and head loss characteristics.

3. *Extruded activated carbon (EAC)*

Extruded activated carbon combines powdered activated carbon with a binder, which are fused together and extruded into a cylindrical shaped activated carbon block with diameters from 0.8 to 130 mm. These are mainly used for gas phase applications because of their low pressure drop, high mechanical strength and low dust content.

4. *Bead activated carbon (BAC)*

Bead activated carbon is made from petroleum pitch and supplied in diameters from approximately 0.35 to 0.80 mm. Similar to EAC, it is also noted for its low pressure drop, high mechanical strength and low dust content, but with a smaller grain size. Its spherical shape makes it preferred for fluidized bed applications such as water filtration.

5. *Impregnated carbon*

Porous carbons containing several types of inorganic impregnate such as iodine, silver, cations such as Al, Mn, Zn, Fe, Li, Ca have also been prepared for specific application in air pollution control especially in museums and galleries. Due to its antimicrobial and antiseptic properties, silver loaded activated carbon is used as an adsorbent for purification of domestic water. Drinking water can be obtained from

natural water by treating the natural water with a mixture of activated carbon and $\text{Al}(\text{OH})_3$, a flocculating agent. Impregnated carbons are also used for the adsorption of Hydrogen Sulfide (H_2S) and thiols.

6. *Polymer coated carbon*

This is a process by which a porous carbon can be coated with a biocompatible polymer to give a smooth and permeable coat without blocking the pores. The resulting carbon is useful for hemoperfusion. Hemoperfusion is a treatment technique in which large volumes of the patient's blood are passed over an adsorbent substance in order to remove toxic substances from the blood.

Activated carbon is also available in special forms such as cloths and fibres. The "carbon cloth" for instance is used in personnel protection for the military [54].

Zeolites

Zeolites are porous crystalline aluminosilicates that are made of assemblies of SiO_4 and AlO_4 tetrahedra joined together through shared oxygen atoms. The general chemical formula for zeolites is:



where x and y are integers with y/x (Si/Al ratio) equal or larger than 1; n is the valance of cation M , and z is the number of water molecules in each unit cell. The tetrahedra can be arranged in many different ways to form different crystalline structures. Some zeolites exist as minerals in nature, but all commercially important zeolites are synthetic. Typical procedures entail heating aqueous solutions of alumina and silica with sodium hydroxide. Equivalent reagents include sodium aluminate and sodium silicate. Further variations include changes in the cations to include quaternary ammonium cations.

Synthetic zeolites hold some key advantages over their natural analogs. The synthetic materials are manufactured in a uniform, phase-pure state. It is also possible to produce zeolite structures that do not appear in nature. Zeolite A is a well-known example. Since the principal raw materials used to manufacture zeolites are silica and alumina, which are among the most abundant mineral components on earth, the potential to supply zeolites is virtually unlimited.

Zeolites are unique adsorbents owing to their special surface chemistries and crystalline pore structures. It should be pointed out that probably only 10% of \$1 billion worldwide sales of zeolite is used as adsorbents; the majority of commercial zeolites are used as detergent additives (zeolite 4A), animal food additives (zeolite 4A), ion exchange, and catalyst supports. Among all commercial sorbents zeolites are probably the most extensively investigated and documented.

Activated Alumina

Activated alumina is a porous high-surface area form of aluminum oxide with the formula of $Al_2O_3 \cdot nH_2O$. Commercially, it is prepared either from thermal dehydration of aluminum trihydrate, $Al(OH)_3$, or directly from bauxite ($Al_2O_3 \cdot 3H_2O$), as a by-product of the Bayer process for alumina extraction from bauxite. Its surface is more polar than that of silica gel and, reflecting the amphoteric nature of aluminum, has both acidic and basic characteristics. Surface areas are in the range of 250–350 m^2/g depending on the activation temperature and the source of raw materials. Because activated alumina has a higher capacity for water than silica gel at elevated temperatures it is used mainly as a desiccant for warm gases including air. However, activated alumina has a low adsorption heat for water and other polar molecules as compared with zeolite. Activated alumina also demonstrates moderate adsorption affinity for carbon dioxide, which makes it a suitable sorbent for removing water and carbon dioxide from air. These adsorption properties of activated alumina have been explored extensively for air purification applications by industrial gas companies. This is a perfect example to demonstrate the importance of sorbent regenerability over sorption capacity and selectivity in pressure swing adsorption processes. Activated alumina is also an excellent catalyst support. More applications and representative properties of activated alumina are listed in Tables 1 and 2.

Table 1. Representative physical properties of commercial adsorbents

Adsorbent	Nature	Specific surface area (m^2/g)	Pore diameter (Å)	Porosity	Particle density (g/cm^3)

Activated carbon Small pore Large pore	Hydrophobic amorphous	400-1200 200-600	10-25 >30	0.4-0.6 ≈0.5	0.5-0.9 0.6-0.8
Zeolite	Hydrophilic/ hydrophobic crystalline	600-700	3-10	0.6	1.0
Activated alumina	Hydrophilic crystalline/x-ray amorphous	200-350	10-75	0.5	1.25
Silica gel Small pore Large pore	Hydrophilic/ hydrophobic amorphous	750-850 300-350	22-26 100-150	0.47 0.71	1.09 1.62
Polymeric adsorbent	Hydrophilic/ hydrophobic	450-1100	25-90	0.5	1.25
Carbon molecular sieve	Hydrophilic	≈400	3-9	0.5	1.0

Table 2. Selected applications of commercial sorbents

Adsorbent	Applications
Activated carbon	<p>Hydrogen separation from syngas and hydrogenation processes</p> <p>Ethylene from methane and hydrogen</p> <p>Vinyl chloride monomer (VCM) from air</p> <p>Removal of odors from gases</p> <p>Recovery of solvent vapors</p> <p>Removal of SO_x, and NO_x</p> <p>Purification of helium</p> <p>Clean-up of nuclear off-gases</p> <p>Decolorizing of syrups, sugars, and molasses</p> <p>Water purification, including removal of phenol, halogenated compounds, pesticides, caprolactam, chlorine</p>
Carbon molecular sieve	Nitrogen separation from air
Zeolite	<p>Oxygen from air</p> <p>Drying of gases</p> <p>Removing water from azeotropes</p> <p>Sweetening sour gases and liquids</p> <p>Purification of hydrogen</p> <p>Separation of ammonia and hydrogen</p> <p>Recovery of carbon dioxide</p> <p>Separation of oxygen and argon</p> <p>Removal of acetylene, propane, and butane from air</p> <p>Separation of xylenes and ethyl benzene</p> <p>Separation of normal from branched paraffins</p> <p>Separation of olefins and aromatics from paraffins</p> <p>Recovery of carbon monoxide from methane and hydrogen</p> <p>Purification of nuclear off-gases</p> <p>Separation of cresols</p> <p>Drying of refrigerants and organic liquids</p> <p>Separation of solvent systems</p>

	Pollution control, including removal of Hg, NO _x , and SO _x from gases Recovery of fructose from corn syrup
Activated alumina	Drying of gases, organic solvents, transformer oils Removal of HCl from hydrogen Removal of fluorine and boron–fluorine compounds in alkylation processes Removing of water and carbon dioxide from air
Silica gel	Drying of gases, refrigerants, organic solvents, transformer oils Desiccant in packings and double glazing Dew point control of natural gas
Polymeric adsorbents	Water purification, including removal of phenol, chlorophenols, ketones, alcohols, aromatics, aniline, indene, nitro- and chlor-aromatics, polychlorinated biphenyls (PCBs), pesticides, antibiotics, detergents, emulsifiers, wetting agents, dyestuffs, and radionuclides Recovery and purification of steroids, amino acids and polypeptides Separation of fatty acids from water and toluene Separation of aromatics from aliphatics Separation of hydroquinone from monomers Recovery of proteins and enzymes Removal of colors from syrups Removal of organics from hydrogen peroxide
Clays (acid treated and pillared)	Removal of organic pigments Refining of mineral oils Removal of PCBs

Silica Gels

Silica gel is the most widely used desiccant because of its large adsorption capacity for water (40 wt%), as shown in Fig. 2, and easy for regeneration (150C, compared with 350C for zeolites). Silica is a partially dehydrated polymeric form of colloidal silicic acid with the formula of SiO₂nH₂O. Its water content, which is typically about 5 wt%, is presented in the chemically bonded hydroxyl groups. Silica is an amorphous material comprising spherical particles of 20–200 Å in size, which aggregate to form the sorbent with pore sizes in the range of 60–250 Å and surface areas of 100-850 m²/g, depending on gel density. Its surface has mainly Si–OH and Si–O–Si polar groups; this is why it can be used to adsorb water, alcohols, phenols, amines, etc. by hydrogen bonding mechanisms. Other commercial applications include the separation of aromatics from paraffins, the chromatographic separation of organic molecules, and modified silica in chromatography columns [51].

Types of silica gels:

Type A – clear pellets, approximate pore diameter: 2.5 nm, drying and moistureproof properties, used as catalyst carriers, adsorbents.

Type B – translucent white pellets, pore diameter: 4.5-7.0 nm, liquid adsorbents, drier and perfume carriers, also used as catalyst carriers, cat litter.

Type C – translucent, micro-pored structure, raw material for preparation of silica gel cat litter. Additionally dried and screened, it forms macro-pored silica gel which is used as drier, adsorbent and catalyst carrier.

Silica alumina gel – light yellow, chemically stable, flame-resistant, insoluble except in alkali or hydrofluoric acid. Superficial polarity, thermal stability, performance greater than fine-pored silica gel.

Stabilizing silica gel – non-crystalline micro-porous solid powder, nontoxic, flame-resisting, used in brewery of grains for beer to improve taste, clearness, color and foam, removal of non-micro-organism impurities [55].

Polymeric Adsorbents

A wide range of synthetic, nonionic polymers are available for use as sorbents, ion-exchange resins, and particularly for analytical chromatography applications. Commercially available resins in bead form (typically 0.5 mm in diameter) are based usually on copolymers of styrene/divinyl benzene (DVB) and acrylic acid esters/divinyl benzene, and have a wide range of surface polarities, porosities, and macropore sizes. The porosities can be built through emulsion polymerization of relevant monomers in the presence of a solvent that dissolves the monomers and serves as a poor swelling agent for the polymer. This creates a polymer matrix with surface areas ranging up to 1100 m²/g. The major application of polymeric adsorbents is in water treatment. The macroporous polymeric resins can be modified by attaching different functional groups to mimic activated carbon, and to replace activated carbons for certain specific applications in food and pharmaceutical industries where color contamination by the black carbons of the final products is a major concern.

1.3. Chemical, physical and mechanical properties

The action of the sorbent based on adsorption processes, i.e. absorption of adsorbate into the sorbent surface. Adsorbate molecules are attracted by the sorbent surface and deposited thereon, the surface coating layer of adsorbed molecules that do not occur in this chemical reaction, and the adsorbed molecules retain their individuality. Adsorption forces are of the same nature as the intermolecular forces, and begin to appear at the approach of adsorbate molecules to the surface of the sorbent to a distance commensurate with the size of the molecules.

Features of sorbents

Industrial sorbents used in cyclic adsorption processes should ideally meet the following requirements:

- High selectivity resulting from the equilibrium, kinetic, and spatial effect;
- The high sorption capacity;
- High adsorption kinetics;
- The ability to regenerate;
- Good mechanical strength;
- Low cost.

The above requirements for the adsorption performance can be easily reflected by the characteristic properties of the adsorbent, such as:

- A large internal pore volume;
- A large area of the inner surface;
- Controlled surface properties of specific functional groups;
- Controlled pore size distribution, preferably in the range of micropores;
- Weak interactions between the adsorbate and adsorbent (mainly physical sorbents);
- The use of inorganic or ceramic materials to enhance chemical and mechanical stability;
- Low cost of raw materials.

These basic requirements usually imposed adsorbents used in cyclic adsorption processes are based on physical adsorption. Currently strong demand for increasing the chemical adsorbent used in the purification process for removing trace contaminants from the main flow of liquids, such as removal of toxic substances from

the process gas electron beams, and the disposal of toxic or radioactive substances from contaminated water. In these cases, sorbents are used as absorbent materials; regeneration is not necessary and instead, spent sorbents are disposed of in designated areas regulated by the state environmental policy.

1.4. Requirements for the molding mass

There are the following criteria:

- 1) in the process of punching through a die exactly mass should take a predetermined shape, i.e. It should be a good plastic deformation;
- 2) The molded article must not have macro defects which reduce its strength and reduce its presentation ready sorbents and catalysts;
- 3) during the drying and calcination (the latter is often necessary to obtain the required strength or phase composition catalysts and sorbents) no defects arise such as bending of the extrudate. Its cracking which often occurs during calcination as a result of phase transitions associated with a change in unit cell volume and, accordingly, the linear shrinkage (for example, $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) and flow solid phase reactions (e.g., dehydration of hydroxides or aluminosilicates synthesis of novel compounds), which is also accompanied by shrinkage products [5].

1.4.1. Coupling fluid

Application of a certain type of binders and their number depends on the physico-chemical properties of the formable mass. As a liquid binder polyacrylamide (PAA), carboxymethyl cellulose (CMC), methylcellulose (MC), water glass (LGL), glyoxal (GL) can be used. The concentration of the binder can vary within 0.1 ... 2.0 wt. %. The upper limit of concentration of 2.0 wt. % due to the viscosity of the solution.