

## Введение

Для увеличения срока службы крупных строительных конструкций, восстановления их монолитности и подавления фильтрации воды через трещины, образующиеся в стенах, основаниях и окружающих областях крупномасштабных сооружений и конструкций обычно используют цементный раствор. Однако при высоких напорах воды происходит вымывание раствора, и этот метод оказывается не эффективным. Хрупкость затвердевшего цементного раствора дополнительно ограничивает его применение в условиях резких колебаний температуры, вызывающих образование и рост трещин.

Для восстановления монолитности стен и оснований крупных сооружений и конструкций требуется разработать материал, время затвердевания которого значительно меньше, чем растворов бетона. Чтобы нивелировать развитие разрушения под влиянием суточных и сезонных колебаний температуры, квазиупругая деформация материала должна быть значительно больше, чем затвердевшего бетона. Одновременно прочность разрабатываемого материала должна быть сравнима с разрывной прочностью бетона и горных пород.

Анализ литературы и патентный поиск (см. ниже) показали, что такими свойствами обладают компаунды на основе эпоксидных смол. В данной работе предполагается разработать новые материалы и технологии их применения для "залечивания" трещин в крупномасштабных сооружениях (хранилищах и резервуарах радиоактивных отходов, сооружаемых в скальных массивах, плотинах, подземных сооружениях гидроэлектростанций, метрополитенов, шахт и т.д.) и конструкциях.

Получены следующие результаты:

- выполнен анализ состояния проблемы адгезии компаундов к материалам;
- разработаны составы компаундов, измерена их адгезия к сухим и влажным поверхностям горных пород, бетона и металлов;
- разработан спектроскопический метод контроля напряжений в материалах.

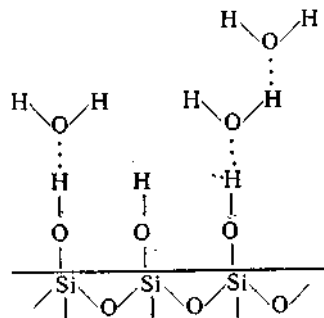
### 1. Анализ состояния проблемы адгезии компаундов к материалам.

#### *Современные представления об адгезии компаундов к бетонам и гранитам*

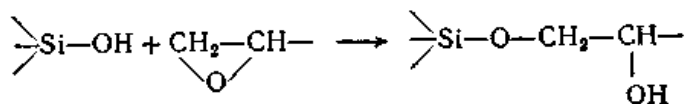
Эпоксидные смолы - олигомеры или мономеры, содержащие в молекуле не менее двух эпоксидных или глицидиловых групп, способные превращаться в полимеры пространственного (сетчатого) строения. Эпоксидные группы находятся в алифатических циклах или цепях, а глицидиловые - на концах молекулярных цепей.

Благодаря высокой реакционной способности эпоксидных и гидроксильных групп эпоксидные смолы способны устанавливать прочные химические связи с бетоном и силикатами, которые образуют основу горных пород.

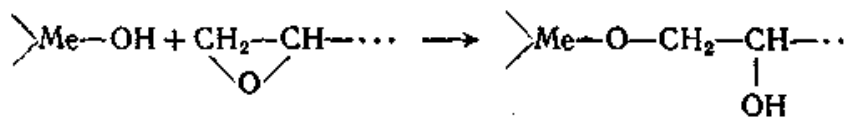
Силикаты состоят из тетраэдров кремний кислородной сетки, на поверхности которой находятся гидроксильные группы и сорбированная влага, слой которой достигает толщины порядка десятков нм. Схематически поверхность силиката может быть изображена следующим образом:



Эпоксидные группы способны к образованию водородных связей с поверхностными гидроксильными группами и к химическому взаимодействию по схеме:



Между атомами металла и эпоксидными группами также могут образоваться химические связи по схеме:



Процесс установления адгезионной связи компаунда к бетонам и горным породам можно условно разделить на три стадии [1]:

- 1) диффузия участков молекул эпоксидной смолы к поверхности твердого тела под действием теплового движения;
- 2) образование химической связи между молекулами смолы и твердым телом;
- 3) отверждение эпоксидной смолы с образованием трехмерного полимера.

Разрабатываемые компаунды должны обладать целым комплексом свойств, которые часто противоречат друг другу.

Например, вязкость компаунда не должна быть большой, чтобы он мог заполнять мелкие трещины и хорошо смачивал их поверхность. С другой стороны при низкой вязкости он будет вытекать из крупных трещин, поэтому она не должна быть слишком низкой.

При отверждении происходит усадка компаунда и возникают тангенциальные силы, стремящиеся оторвать его от подложки. Чтобы уменьшить эти силы необходимо понизить вязкость компаунда, например, путем уменьшения молекулярного веса или при помощи активных разбавителей.

Компаунд также должен иметь достаточно высокую прочность. Поэтому его степень полимеризации не должна быть слишком малой или слишком большой. При малых степенях полимеризации или высоких степенях разбавления адгезия мала вследствие высокой подвижности. При больших степенях полимеризации вязкость компаунда резко увеличивается, адсорбции его молекул на подложке происходит с малой скоростью и прочность адгезионной связи с подложкой уменьшается.

## 2. РАЗРАБОТКА СОСТАВА КОМПАУНДОВ

### 2.1. Патентно-информационные исследования

Обзор отечественной и зарубежной патентной и научно-технической литературы включал монографии, информационные сообщения и каталоги фирм, специализирующихся на проведении ремонтных работ с применением полимерных материалов. Были рассмотрены отечественные и зарубежные материалы с глубиной поиска 1962-2001 г.г., к которым относятся:

1. Экспресс-информация по данным иностранной печати.
2. Реферативные журналы "Химия", "Горное дело", "Энергетика"
3. "Механика композиционных материалов",
4. "Высокомолекулярные соединения",
5. "Пластические массы",
6. "Гидротехническое строительство"
7. Авторские свидетельства СССР, патенты России и зарубежные патенты.

### **2.1.1. Использование полимерных материалов при ремонте крупных сооружений и строительных конструкций**

Иностранные фирмы активно внедряют свои материалы и технологии ремонта на российский рынок, например, фирма "Бельзон", предлагает широкую гамму полимерных композиционных материалов для ремонта оборудования, создания антикавитационных покрытий, ремонта строительных конструкций [3].

Фирма "Полимертехремонт" (г. Санкт-Петербург), специализирующаяся на ремонте строительных конструкций, использует импортные материалы [4].

Большая часть исследований по разработке химических способов борьбы с фильтрацией воды, закрепления горных пород и фундаментов была направлена на создание материалов, имеющих низкую вязкость с тем, чтобы при относительно небольших давлениях инъекции, обеспечить проникновение инъецируемого материала в поры и трещины. Для этой цели в основном использовали частично или полностью водорастворимые смолы (карбамидные [5], полиуретановые [6], фурфуролацетоновые [7] и др.).

Однако эти композиции обладают низкой адгезионной прочностью, например, адгезия полиуретановых и карбамидных смол к сталям составляет только 0,1- 0,8 МПа, а к бетону - 0,5-1 МПа [6]. Кроме того, в условиях напорной фильтрации эти смолы смешиваются с водой и выносятся из трещин и пустот закрепляемого массива.

### **2.1.2. Эпоксидные композиции для производства ремонтных работ**

Эпоксидные смолы занимают особое место основы для создания композиционных материалов благодаря таким ценным свойствам, как высокая адгезия ко многим материалам, широкий интервал рабочих температур, стойкость ко многим агрессивным средам и др. [11]. Кроме того, эпоксидные материалы можно отверждать при температурах до 0 °С, что для ремонтных составов имеет определяющее значение.

Зарубежный опыт последних десятилетий показывает, что для обеспечения надлежащей прочности укрепляемых массивов, ликвидации фильтрации при значительных напорах воды, в частности, при ремонте крупных бетонных плотин, а также восстановлении их монолитности, положительного результата можно достигнуть при использовании инъекционных композиций на основе эпоксидных смол. Так, использование таких композиций позволило получить хорошие результаты при ремонте арочных плотин Цзы-хи (Китай) [8], Кабарра (Италия) [9], а также при проходке шахт в Германии, Саяно-Шушенской ГЭС [10] и на других объектах.

Задача оптимального подбора эпоксидной матрицы, исходя из условий и задач ремонтных работ, необходимых механических характеристик, вязкости, скорости и температурного режима отверждения может быть решена путем изменения концентрации эпоксидных групп и соответствующего подбора отвердителя.

Наиболее распространенными и доступными отвердителями холодного отверждения являются аминные отвердители. Они взаимодействуют с эпоксидной смолой путем присоединения активного атома водорода к эпоксидной группе. Применение различных аминов позволяет широко варьировать скорости отверждения эпоксидных композиций и физико-механические свойства получаемых материалов.

Таблица 1.

## Результаты патентного поиска

№ п.п.	Страна-класс	№ авт.свид. и патентов	Название изобретения
1	2	3	4
1	СССР МКИ В23Р7/00	632533	Способ восстановления изношенных поверхностей деталей
2	СССР МКИ В23Р 7/02	653075	Способ ремонта емкостей
3	СССР МКИ В23Р 7/02	730525	Способ ремонта деталей
4	СССР, МКИ В23Р 7/02	725862	Способ предотвращения роста усталостных трещин
5	СССР, МКИ С08 L 1,63/00 С09 J 33/16 009	341820	Эпоксидная композиция
6.	СССР, МКИ С09 J 3/16	546640	Клеевая композиция для повышения стабильности адгезионных свойств
7.	СССР, МКИ С08 L 1,63/00 С09 J 33/16 009	487096	Эпоксидная композиция
8.	СССР, МКИ С08 L 1,63/00 С09 J 33/16 009	1031207	Специальный маслобензостойкий клей
9.	Россия, МКИ Е 21 Д 0/04 56/11	21688637	Элемент шахтной крепи
10.	США, МКИ В23Р 7/04	3711309	Способ герметизации течей в сосудах и емкостях
11.	США, МКИ В23Р 7/04	3709710	Способ заделки течи
12.	США, МКИ В23Р 7/04	3821971	Ремонтная накладка для труб
13	США, МКИ С08 L 63/00	3963666 Р	Стабильные быстро отверждаемые эпоксидные формовочные композиции.
14	США, МКИ С09 К 3/00	612424246	Эпоксидные композиции с повышенной термостабильностью
15	Франция, МКИ В23Р 7/00	2322692	Способ ремонта массовых литых деталей
16	Франция С08 L 63/0 С09J3/16	2251599	Клей на основе эпоксидных смол
17	Великобритания МКИ , С08 L 63/0 С09J3/16	1382519	Композиции на основе эпоксидных смол и способы их получения.
18	ФРГ	2940912	Способ получения состава эпоксидной смолы
19	Япония, МКИ С08 L 63/0	55-39194	Состав отверждающейся смолы

Наиболее важными представителями этого класса отвердителей для создания композиций, обладающих свойствами, обеспечивающими их применение для ремонтных работ, являются аддукты фенолов и алифатических аминов. Они позволяют наносить композиции на влажную поверхность и производить их отверждение под водой [13].

Наполнители используют для изменения вязкости, придания тиксотропных свойств, уменьшения усадки при отверждении и т.д. [14]. Кроме того, дешевые минеральные наполнители позволяют снизить стоимость композиции.

В результате патентного поиска и проведенных на его основе исследований был выявлен ряд материалов, приведенных в табл. 1. Она содержит сведения о составе и свойствах клеев и герметиков, применяемых при ремонтных работах, а также о способах ремонта. Эти материалы были частично использованы в проводимых исследованиях.

Анализ сведений о различных способах ремонта сооружений, строительных конструкций и отдельных конструктивных элементов приведенных в патентных и литературных материалах показывает, что наиболее перспективными для этих целей являются эпоксидные композиционные материалы.

## **2.2. Выбор и отработка связующих для получения композитов. Разработка рецептур композитов**

### **2.2.1. Выбор класса исходных материалов. Определение качественного состава**

Рассмотрим систему терморезистивных композиций холодного отверждения на основе смеси олигомеров, состоящую из трех следующих композиций:

- высоконаполненная система, обеспечивающая при инъектировании сопротивление вымыванию при высоком давлении фильтрующей воды;
- не наполненная низковязкая система, обеспечивающая при инъектировании заполнение мелких трещин;
- активный разбавитель с реакционно-способными группами, предназначенный для регулирования рабочей вязкости инъектируемого состава.

Исследования индивидуальных свойств отечественных эпоксидных олигомеров как в исходном, так и в отвержденном состоянии выявили необходимость модификации композиции с целью достижения необходимой вязкости приготовленного компаунда и повышения прочностных, деформационных и адгезионных характеристик отвержденного материала при температуре приготовления и эксплуатации материала от 4 °С и выше.

Основой для разработки эпоксидных композиций была выбрана диановая эпоксидная смола с содержанием эпоксидных групп 19-20 %. Для модификации были опробованы олигомерные каучуки различной природы:

- карбоксилатный каучук;
- олигодиенуретанэпоксид;
- тиокол.

В качестве регулятора вязкости использовали активные разбавители двух марок:

- с содержанием эпоксидных групп 25% и вязкостью 0,1 Па·с;
- с содержанием эпоксидных групп 27% и вязкостью 0,05 Па·с.

После предварительных исследований для дальнейшей работы выбран активный разбавитель с содержанием эпоксидных групп 25%.

В качестве эластифицирующего компонента в разрабатываемых материалах был выбран тиокол.

Основным требованием к наполнителю при разработке пастообразного материала для инъектирования является низкая абразивная способность. Таким свойством обладает кальцит с дисперсностью 10 и 20 мкм, который и был использован в качестве наполнителя.

Чтобы производить ремонтные работы как при низкой (от 4 до 15 °С), так и умеренной (от 15 до 30 °С) температурах, в качестве отвердителей были выбраны алифатический аминный отвердитель средней активности и высокоактивный аминафенольный отвердитель.

## 2.2.2 Отработка составов компаундов

На первом этапе осуществлялась отработка состава низковязкой не наполненной системы, обеспечивающей заполнение мелких трещин при инъектировании.

К этому составу предъявляются следующие требования:

- возможность приготовления и отверждения при температуре от 4 °С;
- вязкость при 5 °С не более 8 Па·с.;
- высокая адгезионная прочность.

Для выбора компаунда, удовлетворяющего этим условиям, были приготовлены образцы, в которых содержание тикола варьировалось от 15 до 25 масс. частей и разбавителя – от 10 до 30 масс. частей на 100 частей диановой эпоксидной смолы.

Затем было проведено отверждение смолы с использованием аминного и аминифенольного отвердителей. Необходимое количество отвердителя определялось исходя из содержания эпоксидных групп в каждой композиции. Образцы отверждались при комнатной температуре. Механические испытания проводились через пять суток после изготовления образцов.

Характеристики испытанных образцов композиций приведены в табл. 2.

Анализ таблицы показывает, что наилучшими показателями обладает компаунд с аминным отвердителем приготовленный по рецептуре №4. Ему было присвоено название компаунд марки КС-1. При отверждении компаунда используется 10 масс. ч. аминного отвердителя на 100 масс. ч. основы.

Таблица 2.

Характеристики изученных компаундов

№ п/п	Наименование показателя	Ед. изм.	Рецептура компаунда						
			1	2	3	4	5	6	
1	Вязкость при 5 °С	Па·с	25	18	10	5	3,5	2	
2	Вязкость при 20 °С	Па·с	2,4	1,9	1,1	0,5	0,37	0,22	
3	Жизнеспособность при 5 °С в мин.								
	С аминным отвердителем		-	-	-	-	-	-	
	С аминифенольным отвердителем		120	120	100	120	100	100	
4	Жизнеспособность при 20 °С, мин.								
	С аминным отвердителем		80	70	80	80	80	80	
	С аминифенольным отвердителем		40	30	30	30	30	30	
3	Разрушающее напряжение при сжатии при 20 °С	МПа	120	115	100	95	50	40	
5			Разрушающее напряжение при сдвиге клеевого соединения при 20 °С	12,0	14,0	12,0	11,5	8,0	6,0
6				Разрушающее напряжение при разрыве при 20 °С	14,0	16,0	15,5	13,5	10,0
7	Относительное удлинение при 20 °С	%	2	3	6	10	12	12	
8	Плотность	кг/м <sup>3</sup>	1070	1080	1120	1100	1100	1100	

На втором этапе осуществлялась разработка наполненного высоковязкого компаунда с использованием в качестве наполнителя кальцита двух марок.

При создании наполненных композиций использовался аминифенольный отвердитель. Наполнение производили для создания высоковязкой тиксотропной системы.

Были получены две композиции, имеющие следующие вязкости:

- около 500 Па·с. при 5 °С - для заделки мелких, в том числе вертикальных трещин, каверн и дефектов на плоских поверхностях;
- около 100 Па·с - для инъектирования в крупные трещины под большим давлением.

Для наполнения использовали кальцит различных марок с дисперсностью 10 и 20 мкм.

Из 18 опробованных рецептов наполнения отобраны 5 составов. Для них был определен весь комплекс технологических и физико-механических характеристик (табл. 3).

**Таблица 3.**

**Характеристики составов наполненных компаундов**

№ п/п	Наименование показателя	Температура, °С	Ед. изм	Рецептура				
				1	2	3	4	5
1	Количество наполнителя на 100 масс. частей смолы	-	масс. ч.	120	120	150	160	200
1	Дисперсность наполнителя	-	мкм	20	10	20	20	10
1	Вязкость связующего	5	Па·с	150	170	220	400	970
2	Вязкость связующего	20	Па·с	16	20	24	45	100
3	Начальная рабочая вязкость	5	Па·с	75	96	120	210	550
3	Жизнеспособность	5	мин.	60	60	60	60	60
4	Разрушающее напряжение при сжатии	20	МПа	85	80	75	85	94
5	Разрушающее напряжение при сдвиге	20	МПа	12,0	11,5	11,0	12,5	13,5
6	Разрушающее напряжение при растяжении	20	МПа	14,5	14,5	14,0	14,5	13,5
7	Относительное удлинение	-	%	4	4	5	5	3
8	Плотность	-	кг/м <sup>3</sup>	1500	1500	1600	1730	1800

Наилучшие показатели были у составов 3 и 5. Этим составам были присвоены названия КС-2 (материал для инъектирования в мелкие трещины) и КС-3 (высоковязкий материал для инъектирования в крупные трещины).

На третьем этапе осуществлялся выбор активного разбавителя для оперативного регулирования вязкости компаунда КС-2 на месте применения. В результате исследований был выбран активный разбавитель с вязкостью при 5 °С - 0,85 Па·с и при 20 °С 0,1 Па·с, способный образовывать единую сшитую систему с компаундом в отвержденном состоянии.

В комплекте с отвердителем этому материалу было присвоено название компаунд КС-4. В состав компаунда на 100 масс. частей основы приходится 30 масс. частей аминифенольного отвердителя.

**Выводы к п. 2**

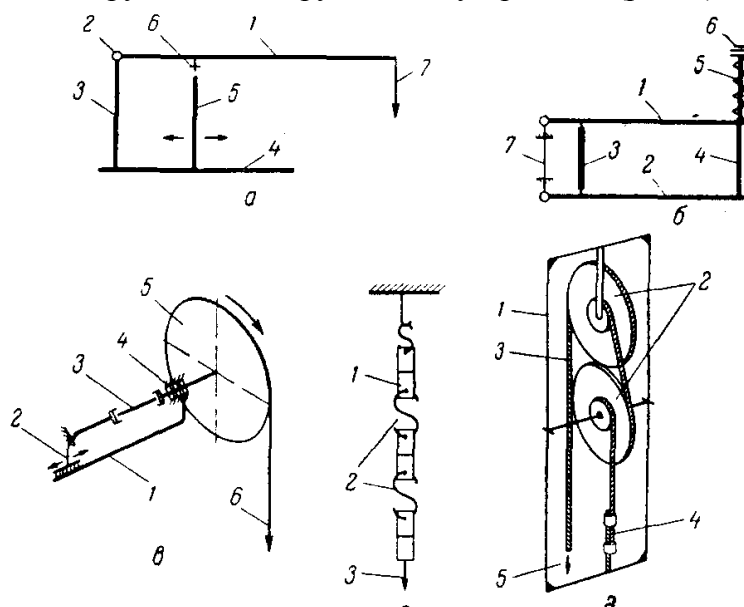
1. В результате анализа литературы и проведения патентного поиска определены требования к разрабатываемым материалам и их основным физико-механическим и технологическим характеристикам. Установлено, что наиболее перспективными являются композиции на основе эпоксидных смол. Разрабатываемые материалы должны представлять собой систему эпоксидных композиций различающихся вязкостью и временем отверждения.

2. Разработана рецептура низковязкой (вязкость при температуре 20 °С 0,5 Па·с.) не наполненной композиции КС-1, предназначенной для герметизации сварных швов, заполнения мелких трещин и инъектирования при низких давлениях, с двумя вариантами отверждения:

- с аминным отвердителем (для работы при температурах 15-30 °С);
  - с аминофенольным отвердителем (для работы при температурах 4-15°С).
3. Разработаны две рецептуры наполненных композиций:
- КС – 3 с аминофенольным отвердителем: с рабочей вязкостью около 100 Па·с для инъектирования в мелкие трещины, заделки каверн и дефектов на плоских поверхностях;
  - КС – 2 - с рабочей вязкостью около 500 Па·с для заполнения крупных трещин и пор при высоком давлении.
4. Подобран активный разбавитель для регулирования вязкости наполненных материалов, в комплекте с аминофенольным отвердителем – состав КС-4.

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АДГЕЗИИ КОМПАУНДОВ К СУХИМ И ВЛАЖНЫМ ПОВЕРХНОСТЯМ ГОРНЫХ ПОРОД, БЕТОНА И МЕТАЛЛОВ

В настоящее время для исследования прочностных свойств полимерных композитов применяют [15] рычажные и пружинные нагружающие устройства (рис. 1).



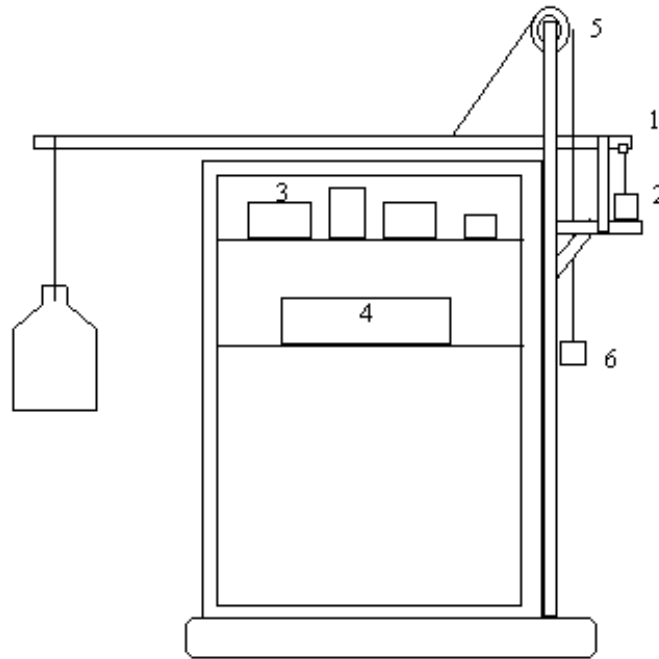
**Рис. 1. Схемы установок для длительных испытаний полимерных композитов [17]:**

**а** - рычажная установка с приспособлением для испытания полимерных композитов на сдвиг при сжатии (1 - рычаг; 2 - шарнир; 3 - стойка; 4 - станина; 5 - подвижная опора; 6 - образец; 7 - груз); **б** - пружинно-рычажная установка с приспособлением для испытания клеевых соединений на сдвиг при растяжении (1 - рычаг; 2 - станина; 3 - качающийся шарнир; 4 - стойка; 5 - пружина; 6 - нагружающее устройство; 7- образец); **в** - установка для испытания клеевых соединений на сдвиг при кручении (1 - станина; 2 - подвижный захват; 3 - образец; 4 - подшипник; 5 - диск для передачи крутящего момента; 6 - нагрузка); **г** - установка для определения влияния постоянной нагрузки на кратковременную прочность клеевых соединений (1 - образец; 2 - S-образные крюки; 3 - груз); **д** - рычажно-дисковая установка с приспособлением для испытания клеевых соединений на сдвиг при растяжении (1 - рама; 2 - диски для передачи нагрузки; 3 - стальная тяга; 4 - образец; 5 - груз).

Измеряли адгезионную разрывную прочность клеев к сталям и сдвиговую прочность компаундов к бетону и разрывную – к граниту.

Образцы из цемента и гранита испытывали на стандартной разрывной машине со скоростью нагружения 10 МПа/с. Для испытаний на растяжение склеенных стальных образцов была изготовлена установка, схематически показанная на рис.2.





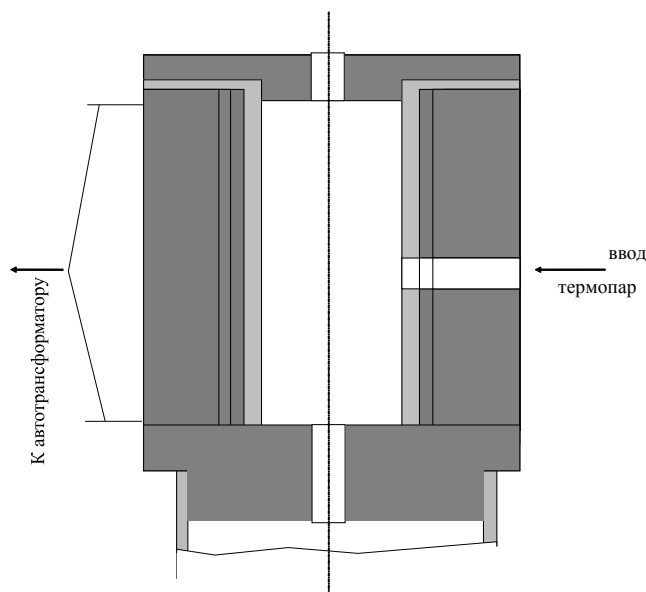
**Рис. 2. Блок-схема установки для определения долговечности клеевых образцов (обозначения в тексте).**

Она состоит из рычажного устройства для нагружения (1), температурного блока - сменных камер-термостатов для создания и поддержания необходимой температуры (2), устройства для измерения и регистрации температуры (3) и устройства для отсчета времени до разрушения (4).

Рычажное устройство для одноосного растяжения испытуемого образца с постоянной скоростью имеет соотношение плеч 1:16. Скорость нагружения задавалась при помощи электромотора или путем заливания воды в бак. Тяга (5) с грузом (6) служит для уравнивания рычажной системы перед проведением измерений.

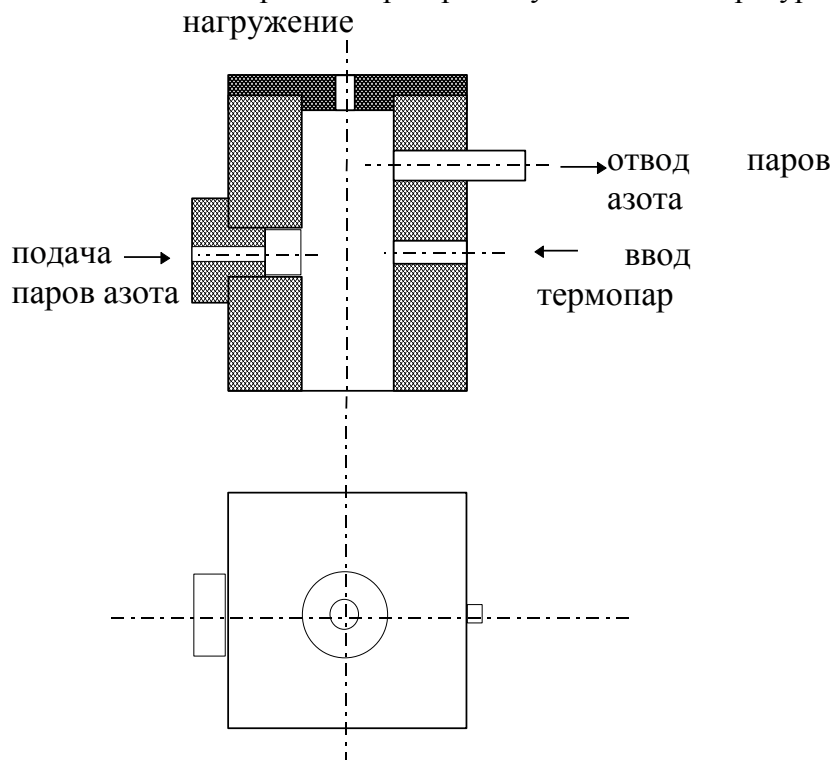
Для выполнения поставленной задачи требуется проведение исследований в широком диапазоне температур от  $-70^{\circ}\text{C}$  до  $150^{\circ}\text{C}$ . С этой целью были сконструированы две сменных камеры - термостаты и электронное устройство для измерения и поддержания необходимой температуры. Камеры-термостаты взаимозаменяемы.

Высокотемпературная камера предназначена для термостатирования образца при температурах от 25 до  $200^{\circ}\text{C}$ . Она представляет собой печь с электронагревом, регулируемым на входе (рис.3).



**Рис. 3. Блок-схема высокотемпературной камеры.**

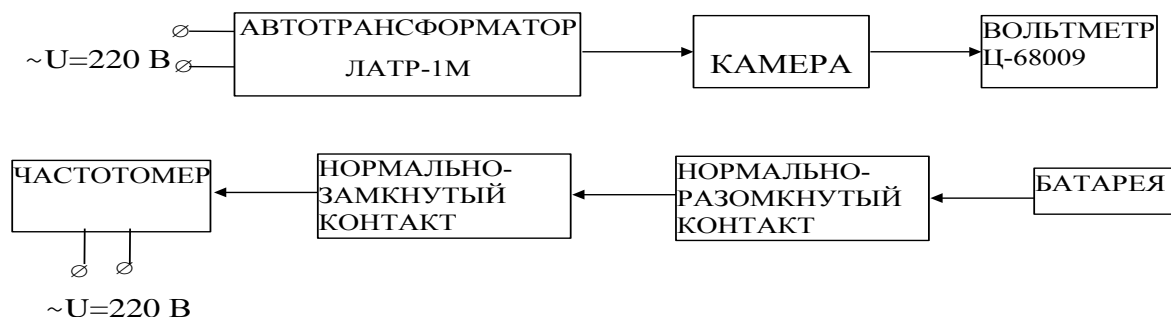
Криогенная камера (рис. 4) предназначена для термостатирования образца в диапазоне температур от  $-170$  до  $20^{\circ}\text{C}$  (при заливке жидким азотом). Камера снабжена нагревателем паров хладагента для обеспечения работы при промежуточных температурах.



**Рис. 4. Блок-схема криогенной камеры.**

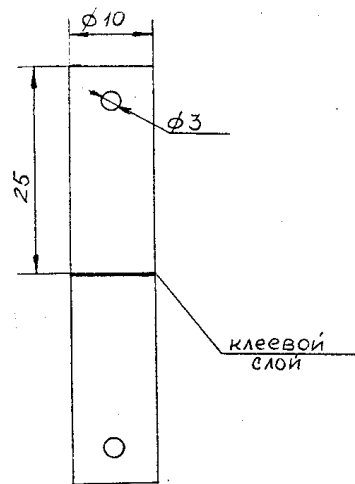
Измерительный комплекс установки состоит из стандартных приборов и оборудования:

- цифрового измерительного вольтметра типа Ц-6800 или Ц-31 для измерения температуры;
- сосуда Дьюара, наполненного тающим льдом, который служит эталоном температуры;
- сосуда Дьюара, наполненного жидким азотом, который служит эталоном температуры;
- частотомера 43-33 для отсчета времени до разрушения с системой автоматического включения и выключения, схема которой приведена на рис 7;
- дифференциальных термопар – медь - константан, для низкотемпературных измерений и хромель - алюмель, для высокотемпературных измерений;
- АЦП и персонального компьютер для контроля стабильности температуры во времени и обработки экспериментальных данных.



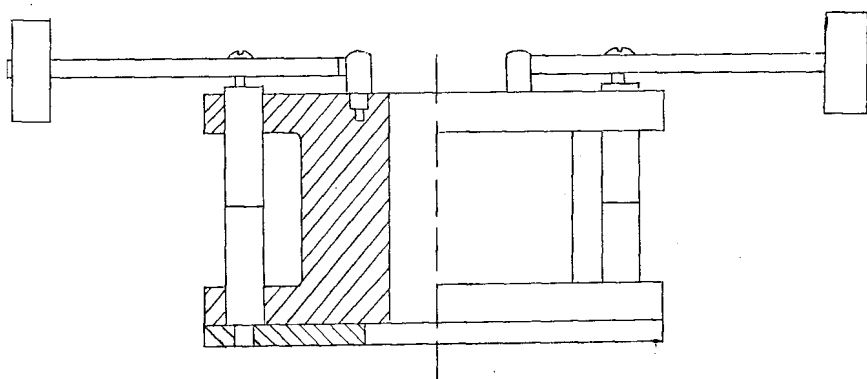
**Рис. 5. Блок-схема автоматического включения и выключения частотомера 43-33.**

Для исследования прочности композитов к стали 45 были приготовлены образцы, представляющие собой два склеенных торцами металлических цилиндра. Вид, размеры образца представлены на рис. 6.



**Рис.6. Образец для исследований адгезионной прочности клеев к стали 45.**

Склеивание образцов, производили в приспособлении, обеспечивающем точность центровки образца и требуемое прижимное усилие (рис. 7).



**Рис. 7. Приспособление для склеивания образцов.**

Склеенные образцы выдерживали при температуре 25 °С в течение 24 часов, после чего термостатировали при температуре 90 °С в течение 5 часов.

Образцы из цемента марки 400 представляли собой кубы с размерами 3х3х3 см. Они склеивались компаундом КДС-173 в проточной воде при комнатной температуре. Затем их выдерживали в воде для завершения процесса полимеризации компаунда в течение 5 дней.

Образцы гранита представляли собой стержни горной породы диаметром 20 мм с гладкими торцами, склеенными компаундом КДС-173. Для завершения полимеризации компаунда их выдерживали перед испытанием в течение недели.

Количество образцов для измерений при использовании одного и того же компаунда составляло не менее 5 штук.

Результаты измерений приведены в табл. 4.

**Таблица 4.**  
**Адгезионная прочность полимерных композитов к стали 45, бетону и граниту при T=25 °С**

Композит	Материал	Вид испытаний	$\sigma$ , МПа
К-300	Сталь 3	Растяжение	270
КВС-31	-	-"	82
Криосил	-	-"	270
БлБ	-	-"	175
БлХ	-	-"	230
К-300-61	-	-"	310

КДС-173	бетон 400	Сдвиг	104
КДС-173	гранит	Растяжение	100

Из табл. 5 следует, что наибольшей прочностью к стали марки Ст45 обладают композиции К-300, К-300-61, Криосил и БлХ.

Прочность компаунда КДС –173 к влажным бетону и граниту составляет  $\approx 100$  МПа, что обеспечивает возможность его применения для восстановления монолитности крупномасштабных сооружений из бетона и гранитных оснований под ними.

### **Выводы к п. 3**

- 1 . Разработаны механическое устройство, термокамеры для измерений прочности в диапазоне температур от  $-70$  до  $150$   $^{\circ}\text{C}$  и устройство для приготовления образцов;
- 2 . Измерена адгезионная прочность клеев к металлам и компаунда к бетону и граниту. Полученные значения прочности показывают, что эти клеи могут быть использованы для ремонта стальных конструкций, а компаунды – для "залечивания" крупных и мелких трещин при восстановлении монолитности крупномасштабных сооружений из бетона и гранитных оснований.

### **Заключение**

1. Поставленные в техническом задании и календарном плане задачи выполнены полностью.
  - 1.1. Выполнен анализ современных представлений об адгезии компаундов к материалам: металлам, бетону и граниту.
  - 1.2. В результате анализа литературы и патентного поиска определены требования к разрабатываемым материалам и их основным физико-механическим и технологическим характеристикам. Установлено, что наиболее перспективными являются композиции на основе эпоксидных смол.
  - 1.3. Разработаны рецептуры композиций для герметизации сварных швов, заполнения мелких и крупных трещин, заделки каверн. Подобраны отвердители и активный разбавитель для регулирования вязкости наполненных композитов на месте применения.
  - 1.4. Сконструирована установка и проведены измерения адгезионной прочности разработанных компаундов и клеев к сухим и влажным поверхностям горных пород, бетона и металлов.
  - 1.5. Разработан метод контроля и проведены измерения напряжений в полимерных материалах на металлах.
2. Полученные в данной работе компаунды целесообразно использовать при разработке технологии ремонта сооружений и объектов путем залечивания трещин, каверн и др. дефектов. Разработанный метод контроля напряжений может быть использован для измерения напряжений в полимерных покрытиях и адгезионных швах.
3. Эффективность работы состоит в разработке технологии получения новых компаундов для залечивания дефектов в крупномасштабных сооружениях.
4. Разработанные компаунды обладают адгезионной прочностью с влажным бетоном и гранитом, превышающей прочность ранее разработанных компаундов и прочность бетона на растяжение. В тоже время их квазиупругая деформация до разрыва достигает 10 – 20%, что препятствует разрушению "залеченных" дефектов при значительных колебаниях температуры.

### **Список использованных источников**

1. Воюцкий С.С. Аутогезия и адгезия высокополимеров, М., 1960. 256 с.
2. Берлин А.А., Басин В.К. Основы адгезии полимеров, М., 1969. 304 с.
3. Каталог фирмы "Бельзон" 1998 г.
4. Каталог фирмы "Полимертехремонт" 2001 г.
5. Дурчева Н. Натурные исследования монолитности высоких бетонных плотин. М.: Энергоатомиздат, 1988. 380 с.

6. Катков Ю.Р., Яшкуль Д.М., Вагучов А.В. Гидротехническое строительство, 1996, № 6, с. 9.
7. Рекомендации по уплотнению пористых грунтов с большими скоростями фильтрующей воды инъекцией смолы на основе фурилового спирта. Л.: ВНИИГ, 1979, 10 с.
8. Chuanlin T.U. Proc. 15<sup>th</sup> ICOLD. Lausanne, 1985, v. 5, q. 57, r. 21, p. 653.
9. Vallino G., Forzano G. Proc. 14<sup>th</sup> ICOLD. Rio de Janeiro. 1982., q. 52, p. 515
10. Брызгалов В.И., Епифанов А.П. и др. Гидротехническое строительство, 1999, № 2, с. 2.
11. Ли Х., Невилл К. Справочное руководство по эпоксидным смолам. М.: Энергия, 1973, 458 с.
12. Самсонова Т.И., Сафонов Г.В., Микора Р.И. Известия ВНИИГ. Ленинград, 1982, с.161.
13. Гвирц Э.М., Коршунова К.И., Гвадыбадзе Л.Б. и др. В сб. "Заливочные компаунды и герметики. Материалы к краткосрочному семинару", ЛДНТП, 1971, с. 29.
14. Липатов Ю.С. Физическая химия наполненных полимеров, М.: Химия, 1977, 356 с.
15. Фрейдин А.С., Новокрещенов П.П. Механика полимеров, 1966, № 3, с. 320.
16. Хангу Ю.Э. Автореф. канд. дисс., Л.: ЛИСИ, 1966, 15 с.
17. Зигерн-Корн В.Н., Фрейдин А.С. Труды I Всесоюзной конференции по клеям и технологии склеивания, Таллинн, 1966, с. 63.
18. Регель В.Р., Слуцкер А.И., Томашевский Э.Е. Кинетическая природа прочности твердых тел, М.: Наука, 1974, 475 с.
19. Рахимов Р.З., Воскресенский В.А. Механика полимеров, 1966, № 1, с. 73.
20. Zhurkov S.N., Vettegren V.I., Novak I.I., Korsukov V. E. Fracture. 1969, p. 545.
21. Губанов А.И., Кособукин В.А. Механика полимеров, 1975, № 1, с. 33.
22. Башкарев А.Я., Миронов Н.И., Семенов В.П. Пластмассы в строительных и землеройных машинах. Л.: Машиностроение. 1981. 191 с.
23. Корсуков В. Е., Веттегрень В. И. Проблемы прочности, 1971, № 2, с. 51.
24. Раневский А. Н. Полиамидные подшипники. Расчет и проектирование. М.: 1967, 172 с.
25. Липатов Ю.С. Межфазные явления в полимерах, Киев: Наукова Думка, 1980 286 с.
26. Башкарев А.Я., Андреев Ю.Е., Лебедев А.А., Букреев В.В. Повышение эффективности использования машин в строительстве, Л.: Машиностроение 1984, 30 с.
27. Петров В.А., Башкарев А.Я., Веттегрень В.И. Физические основы прогнозирования долговечности конструкционных материалов. СПб.: Политехника, 1993, 475 с.