

## ОГЛАВЛЕНИЕ

**ВВЕДЕНИЕ.....**  
.. 2

### **ГЛАВА 1.ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.**

**1.1.отечественный и зарубежный опыт возведения промышленных вытяжных**

**труб..... 3**

**1.2.материалы для железобетонных**

**труб.....6**

**1.3.выбор технологии возведения вытяжной**

**трубы.....7**

**1.4.цель**

**работы.....8**

**1.5.выводы.....**  
...8

### **ГЛАВА 2.МАШИНЫ, МЕХАНИЗМЫ ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ И ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ФУТЕРОВКИ**

**2.1.характеристика машин и механизмов.....9**

**2.2.характеристика исходных материалов ждя футеровки.....11**

**2.2.1.оценка теплофизических параметров.....13**

**2.3.определение физико-механических и теплофизических характеристик...19**

**2.4.определение технологических характеристик бетона.....20**

**2.5.определение технологических характеристик возведения трубы.....21**

### **ГЛАВА 3.ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ТРУБЫ**

**3.1.выбор царг для трубы.....22**

**3.2.машины и механизмы.....27**

**3.2.1.методика расчета характеристик поворотной  
мачты.....31**

**3.3.разработка технологии возведения  
трубы.....37**

## **ГЛАВА 4.ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ БЕТОНА ДЛЯ ФУТЕРОВКИ И ТЕХНОЛОГИЯ УСТРОЙСТВА ФУТЕРОВКИ**

**4.1.физико-механические  
исследования.....39**

**4.2.теплофизические  
исследования.....42**

**4.3.технология устройства  
футеровки.....48**

**4.4.выводы.....  
....50**

**ОБЩИЕ  
ВЫВОДЫ.....61**

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ  
ЛИТЕРАТУРЫ.....62**

### **ВВЕДЕНИЕ**

В основе важнейших отраслей промышленного производства -металлургического, химического, нефтехимического, производства строительных материалов, изделий и конструкций, а также получения энергии на тепловых электростанциях лежат высокотемпературные процессы.

Промышленные дымовые трубы, как самостоятельные инженерные сооружения появились в период развития машинного промышленного производства в России во второй половине XIX века, а в Европе в начале века.

Дымовые трубы больших высот в основном сооружают из монолитного железобетона.

Первые железобетонные трубы появились в начале XX века. Одна из самых высоких железобетонных труб построена в США в 1927 году. Труба для отвода газов от ряда печей имела высоту 129 м, диаметр верхнего сечения 3,96 м. В России первая паническая труба была сооружена в 1944-1946 гг. на комбинате "Пегенганикель" по технологии США. Самая высокая в мире дымовая труба высотой 420 м сооружена в 1988 году на Экабастузской ТРЭС.

Возведение дымовых труб -трудоемкий, кропотливый и потенциально опасный процесс. Появление сборных железобетонных дымовых труб из кольцевых царг позволило снизить трудоемкость работ и повысить безопасность производства работ. Трубы высотой 30-60 м получили довольно широкое распространение в промышленных отраслях с незначительным количеством вредных выбросов и сельских котельных.

Дымовые трубы в зависимости от материала изготовления и условия эксплуатации отличаются конструктивно и каждая конструкция имеет свои преимущества и слабые стороны. Для эффективной эксплуатации и обслуживания, необходимо иметь представления об основных параметрах их расчета, знать особенности конструкций сооружения, представлять влияние различных негативных и способы снижения негативных факторов.

Разработка технологии возведения дымовой трубы с подбором оптимальных технологических параметров, а также эффективных материалов для футеровки является актуальной задачей.

## **ГЛАВА 1.ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.**

## **1.1. Отечественный и зарубежный опыт возведения промышленных вытяжных труб**

Конструктивные решения футеровки, используемые в конструкциях в бетонных дымовых трубах за рубежом, с течением времени претерпевали существенные изменения, связанные с повышением эффективности работы тепловых агрегатов и изменением требований к экологической безопасности сооружений дымовых труб.

В зарубежной практике основное внимание обращается на экологическую безопасность охране окружающей среды.

Раньше температура дымовых газов была значительно выше, чем в настоящее время (около  $250^{\circ}\text{C}$ ) и выше, что знаменательно упрощало проектирование дымовых труб.

Во многих промышленно-развитых странах, такие как США, Великобритания, ФРГ, Франция, Китай, Япония и другие конструкция тепловых агрегатов такова, что энергия газов изначально выбрасывавшая в атмосферу используется для предварительно подогрева воздуха и воды. В связи с ужесточением требований по охране окружающей среды в США, Евросоюзе и строгий контроль за их соблюдением приводит к тому, что температура на входе в дымовую трубу в среднем не превышает  $50^{\circ}\text{C}$ . Зачастую эта температура ниже точки росы дымовых газов и поэтому футеровки труб работают в очень суровых условиях, дымовые газы водонасыщены, содержат кислоты, а их статистическое давление превышает, атмосферное.

В перспективе условия работы будет еще тоже ужесточаться, так как наличие избыточного давления в стволе трубы стало скорее правилом чем исключением, а работа при температуре дымовых газов вблизи точки росы будет вызывать

попеременное увлажнение- высушивание футеровки. Рассмотрим развитие типовых конструктивных решений футеровок .

У первых бетонных дымовых труб кирпичная футеровка выполнялась только на часть высоты трубы и опирались на фундамент трубы. Это связано с тем, что у первых бетонных труб стенки ствола имела значительную толщину для восприятия ветровых усилий и систематических нагрузок, поэтому и при отводе высоконагретых газов кирпичная футеровка была призвана снизить температурные усилия в бетонном стволе. Звеновая кирпичная футеровка успешно решила проблему температурных напряжений. Бетонная оболочка трубы отливалась с консолями, приблизительно через каждые 12 м.

Кирпичная футеровка толщиной в 100 мм укладывались на консоли, при этом оставлялся воздушный зазор около 50 мм.

В ходе технической модернизации тепловых агрегатов температура дымовых газов стала снижаться одновременно с повышением их скорости и в стволах дымовых труб появилась вероятность возникновения избыточного давления дымовых газов. В этих условиях кирпичная звеньевая футеровка не может предотвратить проникновение агрессивных газов к стволу трубы, где происходила их конденсация и коррозия основных несущих конструкций дымовой трубы. Поэтому из-за широкого спектра проблем, связанных с коррозией, звеньевые кирпичные футеровки фактически не применяются.

Следующим этапом совершенствования конструкций футеровок стали так называемые кирпичные футеровки на "отnose", которые опираются на фундамент дымовой трубы и возводятся на всю высоту трубы с проходным зазором между стволом и футеровкой. При этом все проемы и не плотности герметизируются, а специальными вентиляторами нагнетается

воздух в кольцевой зазор для создания в нем избыточного давления не менее 250 Па по сравнению с давлением газа в трубе.

Кроме того в качестве футеровок на "отnose" более 30 лет успешно используются теплоизолированные металлические газоотводящие стволы.

Тип футеровки определяется по экономическим соображениям, в зависимости от высоты трубы и внутреннего диаметра, хотя необходимо анализировать актуальность проблем коррозионной стойкости и сейсмостойкости в обоих этих конструктивных решениях.

Необходимость поиска новых конструктивных решений футеровки дымовых труб привело к применению для очистки газов скрубберов (1,2). В некоторых газоочистных системах с целью повышения температуры отводных газов выше точек росы применяют байпасирование т.е. в очищенные газы после скруббера подмешивается неочищенный горячий газ. Однако высокая стоимость этих операций и необходимость соблюдения экологических требований резко ограничивает использование таких приемов, поэтому по мере продолжения увеличения эффективности утилизации тепловой энергии и совершенствования систем очистки температура дымовых газов становится ниже точки росы.

Даже если эксплуатации труб планируются при температуре выше точки росы, устанавливается расчетная верхняя граница рабочей температуры газа на 25<sup>0</sup>С выше температуры точки росы. В связи с таким малым допуском необходимо учитывать возможность появления конденсата и вести проектирование футеровок с учетом их работы под воздействием водонасыщенных газов.



## 1.2. Материалы для железобетонных труб

Для изготовления царг сборных железобетонных дымовых труб применяют жаростойкие бетоны марки не ниже 300<sup>0</sup>С (ИЗ) с заполнителями шамотными и на базе шлаковой пемзы и литого шлакового щебня.

В первом случае в качестве вяжущего используют портландцемент, шлакопортландцемент и быстротвердеющий цемент марки не ниже 400. Расход цемента на 1м<sup>3</sup> 450-500 кг.

Для получения бетона проектной прочности необходимо чтобы зерна заполнителя были достаточно прочными и обеспечивали хорошее сцепление с цементов. Для формирования царг сборных железобетонных труб применяют мелкий заполнитель с размером до 5 мм и крупный заполнитель с размером зерен 5-20 мм.

Во втором случае в качестве вяжущего используют портландцемент марки 500. расход цемента 400-420 кг на 1м<sup>3</sup> бетона.

Шлаковая пемза, которая применяется также в качестве заполнителя получают путем поризации водой огненно-жидких шлаковых расплавов, а шлаковый щебень представляет собой искусственный каменный материал, получаемый их специально отлитых доменных шлаков путем их дробления и отсева на фракции, крупный заполнитель фракцией 5-10 мм и 10-20 мм отдельно.

В качестве тонкомолотой добавки применяют андезитовую муку или молотую шлаковую пемзу. Все материалы дозируют по массе, а бетонные смеси готовят в смесителях принудительного действия. Для улучшения удобоукладываемости и увеличению плотности бетона применяют суперпластификаторы в количестве 0.1-0.2% по массе цемента.



Конструкции из жаростойких шамотных бетонов используют в дымовых трубах, отводящих газы от тепловых агрегатов, работающих на газовом топливе или малосернистых угле или мазуте. Конструкции из жаростойких бетонов на основе литых доменных шлаков и шлаковой пемзы предназначенных для труб, отводящих газы при любых видах топлива.

### **1.3. Выбор технологии возведения вытяжной трубы**

В практике строительства вытяжных труб применяют два способа в зависимости от вида производства, мощности предприятия, сроков и условий строительства. При возведении дымовых вытяжных труб высотой более 60 метров обычно применяют метод наращивания с применением самовыдвижных кранов. Методом наращивания возводят и трубы высотой до 60 м., но особых единичных случаях применяют более сложный в технологическом отношении монтаж трубы, собранный в горизонтальном положении. Этот метод применяют для сокращения сроков строительства и высота трубы при подъеме равно 50-60 м.

В связи с переходом промышленных предприятий на более экологически чистые технологии многие предприятия возводят трубы меньших высот, так как нет необходимости вредных выбросов в верхние слои атмосферы. В данной работе в качестве основного метода рассматривается вариант горизонтальной сборки и одновременно ее подъем в проектное положение. Применение этого метода является более актуальным в связи с появлением современных машин и механизмов большой грузоподъемности и вылета стрелы, которые монтируют сложные инженерные сооружения качественно и за малые сроки. при этом снижается трудоемкость, продолжительность и стоимость

производства работ. Монтаж вытяжной трубы с горизонтальной сборкой применяют следующие с основные действия и приемы:

- сборке стрелы;
- установление направления сборки;
- раскладка закладных деталей;
- сборке ствола;
- заделка стыков царг;
- закрепление тягового каната на расстоянии 8 м от головки трубы;
- техническое освидетельствование;
- геодезический контроль подъема.

#### **1.4. Цель работы**

Цель работ выпускной квалификационной является разработка технологии возведения и устройства футеровки вытяжной трубы и сборных бетонных царг.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

-анализировать существующие методы технологии возведения труб и выбрать метод возведения по технико-экономическому сравнению

-подобрать состав заполнителя и вяжущего для сборных бетонных царг и футеровки

-исследовать физико-механические и теплофизические свойства бетона для футеровки

-разработать технологию устройства футеровки дымовых труб.

#### **1.5. Выводы**

1. На основе анализа существующих методов возведения вытяжных труб определены оптимальные технологии возведения труб из сборных бетонных царг.

2. Сформирована цель выпускной квалификационной работы и определены задачи исследования по разработке состава бетона на основе портландцемента с заполнителем на шамотном песке в качестве крупного и мелкого заполнителя.

3. Определены основные принципы и технологические приемы футеровки внутренней поверхности трубы.

4. Подобраны машины и механизмы для возведения трубы и устройства футеровки.

## **ГЛАВА 2. МАШИНЫ, МЕХАНИЗМЫ ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ И ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ФУТЕРОВКИ**

### **2.1. Характеристика машин и механизмов**

Выбор машин и механизмов зависит от способа монтажа. Первый способ вертикальным наращиванием и второй способ подъемом трубы собранного в горизонтальном положении. Второй способ применяют в единичных случаях, диктуемых минимальными сроками установки, но является технологически сложным.

Мачтовые и мачтово-стреловые краны являются стационарными кранами, поэтому их используют для возведения высотных точечных специальных инженерных сооружений, такие как вытяжные трубы, радиотрансляционные башни, опоры ЛЭП, осветительные мачты и др. Стационарность этих кранов ограничивает их применение. У мачтового крана поворотная мачта опирается на раму-фундамент и дополнительно прикрепляется к зданию или расчалывается вантами.

На мачте устанавливается поворотная стрела - укосная. Для подъема груза используют имеющуюся в распоряжении лебедку, к которой в зависимости от требуемой грузоподъемности подбирают полиснасти. Мачтово-стреловые краны по виду крепления мачты делятся на вантовые и подкосные.

В тех случаях, когда при установке мачт невозможно разместить ванты применяют двуногие мачты-шевры, представляющие собой А образную сварную раму из труб. Основание шевра закреплено шарнирно, а верхняя часть оголовок удерживается канатом, соединенный с лебедкой. Благодаря этому имеется возможность изменения угла наклона шевра. Грузовой полиснаст подвешивается к оголовку. По

сравнению со стержневыми мачтами к достоинствам шевра можно отнести меньшее число вант и якорей, небольшую массу.

Падающая стрела. Использование падающей стрелы дает возможность собрать инженерную конструкцию и такелаж на земле в горизонтальном положении. Благодаря этому способу не требуется применение башенных кранов и верхолазов, осуществить дополнительный контроль с монтированного такелажа можно не поднимаясь на опору.

Подъем опор с помощью монтажных стрел - рациональный, а часто и единственно возможный способ подъема собранных на земле высоких опор. Собранные в горизонтальном положении опоры поднимают за тяговый капот с помощью тягового механизма. Стрела при этом опускается (как бы подает) на землю. Дополнительный тяговый механизм используют для торможения опоры в конце подъема.

В комплект стрелы входит:

-Секция верхняя, опорная, промежуточная - по 2 шт;

-Шарнир комбинированный - 2 шт;

Талреп - 1 шт;

Цепь - 1 шт;

-Соединительные детали и стандартные изделия;

-Паспорт изделия;

-Руководство по эксплуатации

Падающая стрела выполняется в виде А - образной трубчатой конструкции. Она имеет две стойки соединенные между собой внизу стяжкой длина которой регулируется талрепом. Вверху стойки скреплены осью и имеют проушины для крепления канатов.

Стойки подающей стрелы опираются на специальные комбинированные шарниры.

Секционность стоек зависит от высоты стрелы высотой 25 м и имеет в каждой стойке по три секции - верхнюю и нижнюю. Трубчатые секции соединяются между собой фланцами.

Таблица 2.1

Технические характеристики и грузоподъемность

Марка	Диаметр стоек, мм	Высота, м	Грузоподъемность КН	Масса, т	Цена, млн.р
МПС-18 Т	325 мм	18	200	3,5	1,0
МПС-25 Т	325 мм	25	300	6,3	1,45

**2.2. Характеристика исходных материалов ждя футеровки**

В качестве исходных сырьевых материалов использовались шамот и добавка портландцемент.

Шамот (ГОСТ 2409-2014) представляет собой предварительно обожженную до спекания шамотную глину. В настоящей работе в качестве заполнителя и компонентов композиционного вяжущего использовали шамот Часов-Ярского комбината.

Химический состав шамота Часов-Ярского комбината включает % по массе:  $Al_2O_3$ - 41,97;  $SiO_2$  -53,15;  $Fe_2O_3$  -2,21;  $TiO_2$  - 1,05; остальное -примеси.

Глина для получения шамота в основе минеральной части содержит гидрат кремнекислого кремнезема, каолинит и близкие к нему минералы группы каолинита с общей формулой:



На рентгенограмме исходного шамота (рис.2.1) обнаружены только линии интенсивности, отвечающие межплоскостным расстояниям кварца (d-4,26; 3,36;1,82 ( $SiO_2 \cdot 9H$ )), кристобалита (d - 4,10; 2,52; 2,06;1,78 ( $SiO_2 \cdot 24$ )) и муллита (d - 3,43; 3,39; 2,39; 2,67; 2,54; 2,28; 2,25), а также значительное количество аморфного кремнезема, который является весьма активным и легко

реагирует с водным раствором силиката натрия, образуя вязкие системы в виде высокомолекулярного стекла [29].

Термогравиметрическими исследованиями шамота до (1000<sup>0</sup>С) не выявлено каких-либо эффектов на дифференциально-термической кривой.

Рентгенограмма и термограмма исходного шамота приведена на рис.2.1 и 2.2.

**Рис.2.1.Рентгенограмма исходного шамота.**

## **Рис. 2.2 Термограмма исходного шамота.**

### **2.2.1. Оценка теплофизических параметров**

Огнеупорность определяли в соответствии с ГОСТ 4069-69. Известно [27], что огнеупорность, определенная с помощью пироскопов, не дает полного представления о предельной температуре службы жаростойкого бетона. Поэтому испытания на огнеупорность проводили только для силикат - натриевого композиционного вяжущего портландцемент+тонкомолотая добавка с целью выявления его свойств и оценки влияния на температуру применения жаростойкого шамотного бетона.

Теплопроводность является одним из важнейших показателей свойств жаростойкого бетона. Она зависит от общей пористости, размера и форм пор, температуры, вида твердой фазы [28].

В представленной работе теплопроводность жаростойкого шамотного бетона определяли по методике ВНИПИТеплопроект, основанной на измерении стационарного потока тепла,



коэффициента температуропроводности и табличных данных теплоемкости.

Общий вид и схема установки для определения теплопроводности приведена на рис.2.3. и 2.4

**Рис.2.3. Общий вид и схема установки для определения теплопроводности.**

**Рис.2.4. Схема установки для определения теплопроводности жаростойких материалов при высоких температурах.**

**1-плита на основе каолиновой ваты и глиняной связки толщиной 22 см;**

**2-каолиновая вата;**

**3-электронагреватель;**

**4-нагревательная плита с углублениями для термопар;**

**5-испытуемый материал;**

**6-каолиновая вата (второй слой) толщиной 5 см;**

**7-тепломер;**

**8-измерительные термопары;**

**9-металлический кожух;**

**10-прижимное устройство;**

**11-П-образный кронштейн.**

Установка состоит из теплоизолирующей плиты на основе каолиновой ваты и глиняной связки 1, каолиновой ваты 2 и 6. электронагревателя 3, выполненного из проволоки марки Х2310 ТА диаметром 0,6 мм /ГОСТ 1-90, нагревательной плиты 4 из стали марки Ч 23 Н 18, собранной из двух плит, сваренных между собой и имеющих сквозные отверстия для измерительных термопар 8.

На нагревательную плиту 4 помещают испытуемый образец 5, на горячем и холодном концах которого устанавливают термопары 8, затем укладывают каолиновую вату толщиной 5 см, а на него (5) помещают тепломер 7, который состоит из

дифференциальных термопар 12, 13, 14 и прижимается к испытываемому образцу посредством приспособления 120. Весь прибор помещен в металлический ящик 9.

Образец, высушенный до постоянной массы, устанавливают на нагревательную плиту, прижимают термомером, а после чего включают печь.

После установления стационарного потока тепла, проходящего через образец в направлении перпендикулярно его поверхности, количество тепла рассчитывают по формуле:

$$Q = K \cdot E \text{ [Вт/м}^2\text{]} \quad (1.1)$$

где E – электродвижущая сила (ЭДС). K – постоянная термомера, полученная при градуировке.

расчет теплопроводности материала производится по формуле:

$$\lambda = \frac{Q\delta}{t_1 - t_2} \text{ [Вт/м} \cdot \text{°C]} \quad (1.2)$$

где  $\delta$  – толщина образца, м;  $t_1$ ,  $t_2$  – температуры горячей и холодной поверхности образца, °C.

В представленной работе теплопроводность жаростойкого шамотного бетона также определяли по результатам измерений распределения температуры по толщине при одностороннем нагреве блока размером 250\*250\*500 мм. Схема расположения термопар приведена на рис. 2.5. Тепловую изоляцию боковых граней блока обеспечивали каолиновой ватой. Нагрев осуществляли в печи при 100, 200, 400, 600, 800, 1000, 1100 °C с выдержкой в течение одного часа. Электрическая схема измерения температур при одностороннем нагреве блока из жаростойкого бетона приведена на рис. 2.6

**Рис. 2.5. Схема расположения термопар в блоке.**

**Рис. 2.6. Электрическая схема измерения температуры при одностороннем нагреве жаростойких бетонных блоков, где КПр-компенсационный провод; Г-горячий спай термоэлектродов; Х-холодный спай термоэлектродов; Тпр-термоэлектродный провод; ПМТ-20 - двадцатиточечный переключатель; ПП-63 - потенциометр.**

По данным распределения температуры в блоке с учетом его геометрических размеров были рассчитаны коэффициенты температуропроводности ( $m^2/ч$ ) по формуле

$$a = \frac{KR^2}{6 \cdot \Delta t} \quad [\text{м}^2/\text{ч}] \quad (1.3)$$

где K- скорость нагрева образца, °С/ч; R- расстояние между спаями термопар, м;  $\Delta t = t_{\text{пов}} - t_1$  - разность температур между нагреваемой поверхностью и каждого спая термопар в образце, °С; б-коэффициент зависящий от геометрических размеров исследуемого блока.

Теплопроводность жаростойкого шамотного бетона вычисляли по формуле:

$$\lambda = a \cdot \rho / c \quad [\text{Вт}/\text{с } ^\circ\text{С}] \quad (1.4)$$

где а- коэффициент температуропроводности, м<sup>2</sup>/ч; с - теплоемкость жаростойкого шамотного бетона; ρ - средняя плотность. кг/м<sup>3</sup>.

Линейная усадка или рост бетона определялись на образцах сечением 30\*30 и высотой 60 мм согласно ГОСТ 5402-81, высушенных до постоянной массы. Скорость подъема температуры в печи (8-10)°С/мин, выдержка -2 часа. Дополнительную линейную усадку или рост образца в процентах вычисляли по формуле:

$$\pm \Delta l = \pm \frac{1}{3} \Delta V_{\text{д.н.л}}, \quad (1.5)$$

$$\pm \Delta V_{\text{д.н.л}} = \frac{V_{\text{к}} - V_{\text{н}}}{V_{\text{н}}} \cdot 100 \quad (1.6)$$

$V_{\text{н}}$ - объем образца до нагрева, см<sup>3</sup>;  $V_{\text{к}}$ - объем образца после нагрева, см<sup>3</sup>

Объемы  $V_n$  ,  $V_k$  определяли гидростатическим взвешиванием в соответствии с ГОСТ 2409-80

$$V_n, V_k = \frac{m_{н.ж.} - m}{\rho_{ж}}$$

(1.11)

$m_{н.ж.}$ - масса образца, насыщенного жидкостью, кг;

$m$ -масса образца в жидкости, кг;

$\rho_{ж}$ - плотность насыщающей жидкости при температуре испытаний, кг/м<sup>3</sup>.

Термическая стойкость жаростойких бетонов определялась согласно ГОСТ 7875-56. Образец размером 280\*115\*5 мм, высушенной до постоянной массы, помещали в разогретую до 1300 °С печь и выдерживали 10 мин. Затем нагретый образец опускали в воду с температурой 25°С. Термическая стойкость выражалась числом теплосмен (1300°С-вода), которые выдерживали образцы жаростойкого бетона до потери 20% массы.

### 2.3. Определение физико-механических и теплофизических характеристик

Истинная плотность материала определялась пикнометрическим методом (ГОСТ Р56300-2014), заключающимся в измельчении материала до прохождения без остатка через сито с размерами ячеек в свету 0,2 мм, гидростатическом взвешивании в пикнометре.

Кажущаяся плотность, открытая пористость, водопоглощение, определялись в соответствии с ГОСТ 2409-14 "Материалы и изделия огнеупорные". метод состоял в определении водопоглощения, кажущейся плотности, открытой пористости, при вакуумном способе насыщения материалов жидкостью и гидростатическом взвешивании испытуемых образцов.

Удельную поверхность вяжущего определяли методом воздухопористости в соответствии с ГОСТ 30744-2001 на приборе ПСХ-2 и рассчитывали по формуле:1

$$S_{y\partial} = \frac{KM \cdot \sqrt{T}}{P} \quad [\text{м}^2/\text{кг}] \quad (2.1)$$

где К-постоянная прибора для той пары рисков, между которыми наблюдалось падение столба жидкости;

М-величина, определяемая по таблице и зависящая от высоты слоя материала и температуры воздуха;

Т-время прохождения мениска жидкости между двумя рисками манометра, сек;

Р-масса навески, ч.

прочность при сжатии и изгибе определялись согласно ГОСТ 10180-2012 на прессах типа МС-500 и МС-100. Погрешность измерения на прессах не превышала  $\pm 2\%$ .





## **2.4. Определение технологических характеристик бетона**

Структура жаростойкого бетона, определяющая его важнейшие свойства, обусловлена не только составом его компонентов, но и технологическими факторами- качеством перемешивания бетонной смеси и эффективностью ее уплотнения при формировании.

В жаростойких бетонах необходимо добиваться интенсивного смешивания и образования однородной массы еще и потому, что неоднородность структуры влияет на огнеупорность и термомеханические свойства. в данном случае равномерность распределения зерен заполнителя и композиционного вяжущего должна способствовать образованию максимального числа клеевых контактов, однородности структуры бетона при твердофазовых реакциях в вяжущем, достижению максимальной термостойкости и т.д.

Смешение массы- процесс, зависящий от многих факторов. Скорость и качество смешивания во многом определяются формой и размером частиц, общим зерновым составом каждого компонента в отдельности, числом смешиваемых компонентов, соотношением их количеств и плотностей, трением между частицами, способностью частиц к агрегации, степенью увлажнения, наличием клеящих добавок, степенью изменения зернового состава при смешивании, зависящей от прочности частиц. На эффективность смешивания и его интенсивность влияет также конструкция смесителя, определяющая скорость и траекторию перемещения частиц, порядок загрузки компонентов и др.

## **ГЛАВА 3.ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ТРУБЫ**

### **3.1. Выбор царг для трубы**

Царги изготавливаются из жаростойкого бетона марки В30 на портландцементе тонкомолотым шамотом и шамотным и шлакопемзовым заполнителем. Арматура царг -ненапрягаемая из стали класса А-III, закладные детали - из стали Вст3. Для соединения друг с другом при монтаже высокопрочными шпильками в царгах предусмотрены каналы и ниши для шпилек и гаек [24]

Высоту принимают из условия ограничения монтажного веса царг предельной грузоподъемностью монтажного оборудования: до высоты 10м-10 тонн, выше 10м-5 тонн. Конструкция царг рассчитана на восприятие имеющих нагрузок от соответственного веса, ветра с учетом температурного воздействия дымовых газов, солнечной радиации, податливости основания. Кроме того царги проверяют расчетом на усилия, возникающие при транспортировании и монтаже. при расчете коэффициент перегрузки принимают равным 1.1 -для соответственного веса, 1.4 -ветровой нагрузки, 1.5 -к соответственному весу для учета динамичности при транспортировании и монтаже.

В целях механизации и автоматизации работ при возведении труб и повышения трещиностойкости и долговечности можно применять предварительное напряжение продольной арматуры. В этом случае вся расчетная продольная арматура должна выполняться напрягаемой. Температура газов. отводимых трубой из обычного при наличии футеровки и теплоизоляции не должна быть более 500<sup>0</sup>С, при температуре внутренней поверхности обычного не должна превышать 200<sup>0</sup>С. При температуре свыше 200<sup>0</sup>С применяют жаростойкий бетон.

Выбор составляющих компонентов для изготовления царг зависит от района строительства, вида промышленного производства, условий эксплуатации. Очень важное значение имеет и наличие местного минерального сырья для разработки состава жаростойкого бетона для изготовления царг или устройства футеровки при изготовлении царг из обычного бетона.

Республика Дагестан обладает богатой минералогической базой для получения жаростойких бетонов эксплуатируемого при температуре до 800°C.

К таким минералам относятся минералы диабазовой группы (диобаз, базальт и диорит).

В таблице 3.1 приводятся данные по виду бетона ориентировочная возможная марка бетона в трубах, а также предельная допустимая температура применения бетона в градусах цельсия.

Таблица 3.1

Марка и предельная допустимая служба бетона в трубах

№ п/п	Вид бетона	Возможная марка бетона в трубах	Предельно-допустимая температура применения
1	Обычный бетон на портландцементе	150-400	200
2	Жаростойкий бетон на портландцементе с тонкомолотой добавкой из шомота и с заполнителем из базальта, диобаза, андезита	200-400	700
3	Тоже с заполнителем из шомота	200-300	800

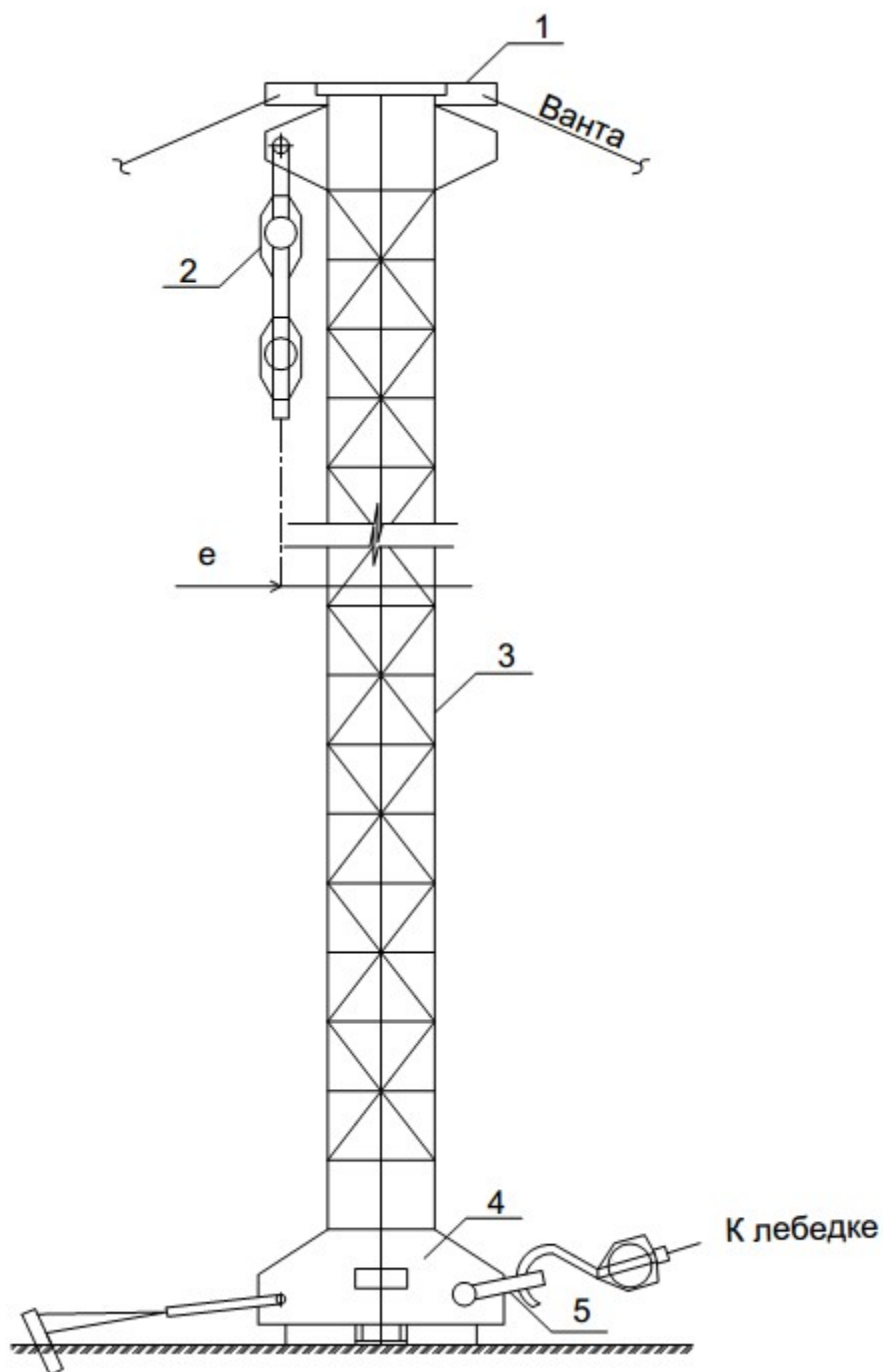
### 3.2. Машины и механизмы

Для монтажа дымовой трубы собранных из железобетонных царг в горизонтальном положении применяют следующие машины и механизмы. Для транспортирования железобетонных царг автомобильные платформы, а также стреловые краны на автомобильном ходу.

Непосредственно для подъема и установки трубы в проектное положение применяют следующие механизмы:

- монтажная мачта;
- подъемная лебедка;
- лебедка горизонтального перемещения;
- ванта;
- тяговый трос горизонтального перемещения трубы;
- тяговый трос подъемной лебедки

Схема решетчатой мачты приведена на рис.3.1.



**Рис.3.1 Монтажная мачта решетчатая**

**Грузоподъемность до 250т., высота до 60м.**

**1-оголовок;**

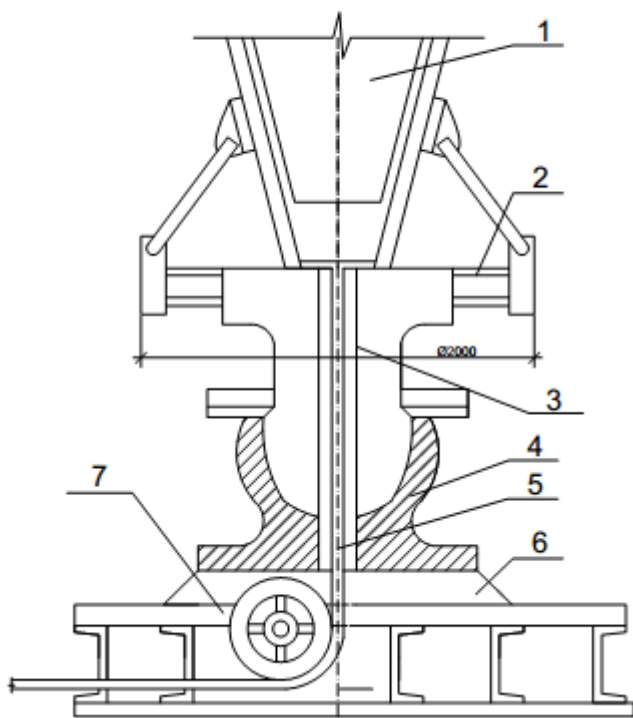
**2-полиснаст;**

**3-секционная стойка;**

**4-опорная часть;**

**5-устройство для тяговых усилий**

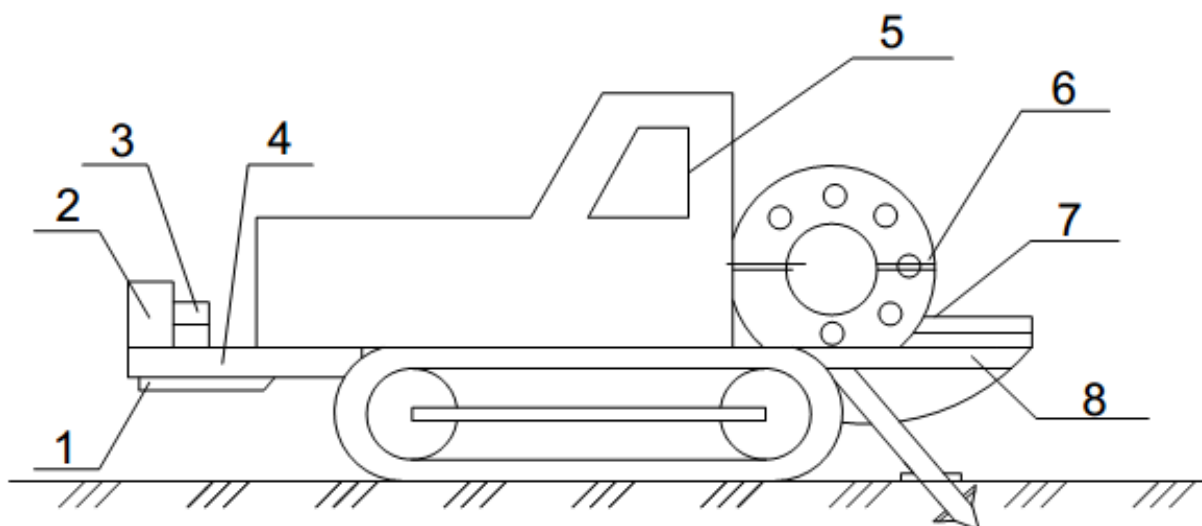
Решетчатые мачты предназначены для больших нагрузок, легче трубчатых, кроме того они лучше воспринимают изгибающие моменты. На рис.3.2. приведена схема универсального опорного шарнира.



**Рис.3.2 Универсальный опорный шарнир**

- 1-мачта;**
- 2-поворотный круг;**
- 3-плита;**
- 4-подплитник;**
- 5-канат;**
- 6-рама;**
- 7-отводной блок**

На рисунке 3.3 приведена подъемная лебедка на базе трактора - тягоча



**Рис. 3.3 Тяговая лебедка**

**1-рам;**

**2-топливный бак;**

**3-воздушные баллоны;**

**4-компрессор;**

**5 -пульт управления;**

**6-лебедка;**

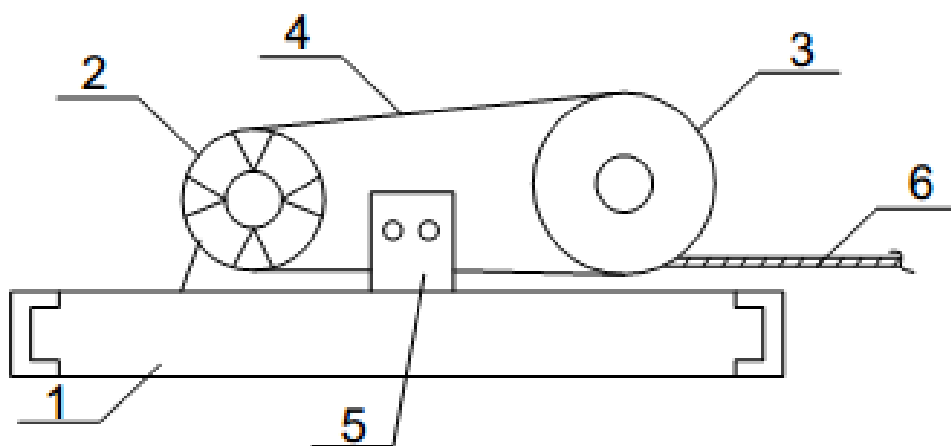
**7-кардовая;**

**8-копсольная рама;**

**9-коробка передач;**

**10-откидной вантовый упор**

На рисунке 3.4 приведена лебедка для горизонтально перемещения груза



**Рис.3.4 Лебедка горизонтального перемещения**

**1-базовая рама;**

**2-электродвигатель;**

**3-блок;**

**4-редуктор;**

**5-пульт управления;**

**6-торговый канат**



### **3.2.1. Методика расчета характеристик поворотной мачты**

Методика расчета приведена по данным работы [30]

Поворотные мачты (рис. 67) допускают наклон мачты с грузом более  $45^\circ$  к вертикали и поворот с грузом в плане на угол около  $180^\circ$ . Это достигается креплением низа мачты на горизонтальном шарнире башмаке, который в свою очередь имеет возможность полного поворота на вертикальном шарнире опорной части, закрепленной на фундаменте. Поворот такой мачты производят только при наклоне  $15^\circ$  к горизонту. Во всех расчалках поворотной мачты включают полиспасты, соединенные с лебедками. Это позволяет менять длину расчалок при наклоне и повороте мачты.

На каждую инвентарную монтажную мачту составляют паспорт с указанием ее грузоподъемности, высоты при различных сборках, характеристики металла, из которого изготовлена мачта, болтов монтажных соединений, подъемного полиспаста, расчалок и лебедок.

При работе мачта испытывает продольное усилие сжатия от силы тяжести поднимаемого груза, усилия от сбегающей нитки полиспаста, вертикальных составляющих усилия натяжения в расчалках от поднимаемого груза и предварительного натяжения, а также влияния собственного веса мачты.

Кроме сжимающих усилий мачта испытывает изгиб от внецентренной подвески поднимаемого груза и при наклоне мачты от ее силы тяжести.

Определение продольной сжимающей силы и изгибающих моментов выполняют в следующем порядке (рис.68).

Определяют действующие продольные усилия.

Силу тяжести поднимаемого груза принимают с учетом коэффициента динамичности, равного 1,1 и коэффициента возможной перегрузки, равного также 1,1

$$Q_r = Q_1 R_1 R_2 + Q_2 R_1$$

При наклоне мачты сжимающее усилие в ней увеличивается от составляющей усилия в работающих расчалках. В запас прочности принимают, что наклон производится в плоскости одной из расчалок. Тогда продольное усилие от груза может быть найдено из условия равновесия системы относительно точки А.

Продольное усилие от груза

$$N_1 = Q_r (a+l) h / (ac),$$

где  $Q_1$  – сила тяжести поднимаемого груза, кН;  $R_1$  – коэффициент перегрузки, равный 1,1;  $R_2$  – коэффициент динамичности, равный 1,1;  $Q_2$  – вес полиспаста и верхней половины мачты, кН;  $h$  – высота мачты, м;  $a$  – расстояние от низа мачты до якоря, м;  $l$  – величина наклона мачты или груза (вылет), м. При вертикальной мачте  $l$  равно эксцентриситету подвески полиспаста;  $c$  – расстояние по вертикали от оголовка мачты до земли, м,

$$c = \sqrt{ha^2 - l^2}.$$

Определяют усилие в сбегающей нитке полиспаста

$$N_2 = S_{cb}.$$

Определяют усилие от предварительного натяжения расчалок. Условно принимают предварительное натяжение расчалок равным 10–20 кН. При четырех расчалках и наклоне расчалок к горизонту  $a$

$$N_3 = 4T \sin a.$$

Суммарное продольное усилие, действующее в мачте,

$$N = N_1 + N_2 + N_3.$$

Изгибающий момент в оголовке мачты от внецентренного крепления грузового полиспаста

$$M_0 = (R_1 R_2 Q_1 + Q_n R_1 R_2) e,$$

где  $Q_n$  - вес полиспаста, кН,  $e$  - эксцентриситет крепления полиспаста, м.

Изгибающий момент в сечении мачты на расстоянии  $2/3$  ее высоты

$$M_{cp} = 2/3 M_0.$$

При наклоне мачты возникает изгиб от ее собственной силы тяжести.

Величина изгибающего момента от собственной силы тяжести составляет

$$M = Q_m l \cos a / 8,$$

где  $Q_m$  - вес мачты без оголовка, кН.

Наличие эксцентриситета приложения нагрузки в оголовке уменьшает влияние момента от силы тяжести мачты.

Расчетный момент на расстоянии  $2/3$  высоты мачты принимают равным

$$M_{cp} \approx (2 M_0 / 3) - (Q_m l \cos a) / 8$$

При незначительных наклонах мачты ( $1/10 \dots 1/15$ ) и небольшой высоте мачты (20–30 м) разгружающее влияние изгибающего момента от собственной силы тяжести мачты в запас прочности обычно не учитывают.

Прочность поясов мачты проверяют в сечении оголовка на центральное сжатие от суммарного продольного усилия в поясе с учетом влияния изгибающего момента.

## Расчетная продольная сила в поясе

$$N_n = N/4 + M_0/(2a)$$

где  $N$  и  $M_0$  – продольное усилие и изгибающий момент в данном сечении, кН;  $a$  – расстояние между центрами тяжести поясов в плоскости действия момента, м.

Прочность пояса мачты определяют по формуле

$$N_n/A = R_y/\gamma_{nm},$$

где  $\gamma_{nm}$  – коэффициент надежности и условия работы: для мачт грузоподъемностью до 16 т равен 1, свыше 16 т – 1,05;  $A$  – площадь сечения мачты,  $\text{см}^2$ ;  $a$  – угол наклона мачты;  $R_y$  – расчетное сопротивление стали.

Устойчивость пояса определяют как центральносжатого стержня с учетом влияния продольного изгиба по формуле

$$N/(\varphi A) < R_y/\gamma_{nm},$$

где  $\varphi$  – коэффициент учета продольного изгиба ветви пояса определяют в соответствии со СНиП II-23-81.

Кроме прочности и устойчивости элементов поясов мачты должна быть проверена общая устойчивость мачты как стержня с шарнирными опорами на концах. Расчетный момент принимают равным моменту в сечении на расстоянии  $2/3$  высоты мачты.

Проверку производят по формуле

$$N/(\varphi_{вн} A) \leq R_y/\gamma_{nm},$$

где  $\varphi_{вн}$  – определяют для мачт с решетками или планками по плоскостям в зависимости от приведенной гибкости мачты и относительного эксцентриситета

$$m = eAa/I; e = M/N$$

где  $M$  и  $N$  – изгибающий момент и продольное усилие на расстоянии  $2/3$  высоты мачты;  $a$  – расстояние от оси сечения до оси наиболее сжатых поясов мачты, м;  $I$  – момент инерции сечения мачты,  $\text{м}^4$ .

Проверку прочности наиболее напряженного, т.е. верхнего стыка мачты, производят по формулам на срез болтов на усилии  $N_{\sigma}$ , которое может быть воспринято одним болтом

$$N_{\sigma} = R_{bs} \varphi_b A_{\sigma} n_s$$

на смятие болта

$$N_{\sigma} = R_{bp} \gamma_b d \Sigma t / \gamma_{nm};$$

на растяжение болта

$$N_{\sigma} = R_{bt} A_{\sigma} n,$$

где  $R_{bs}$ ,  $R_{bp}$ ,  $R_{bt}$  - расчетные сопротивления болтовых соединений соответственно на срез, смятие и растяжение;  $d$  - наружный диаметр болта;  $\Sigma t$  - наименьшая суммарная толщина элементов, сминаемых в одном направлении;  $n$  - число расчетных срезов одного болта;  $\gamma_b$  - коэффициент условий работы соединения: для болтов повышенной точности  $\gamma_b = 1$ ; для обычных болтов при конструкциях из малоуглеродистых сталей  $\gamma_b = 0,85$

Стыки мачт выполняют на болтах повышенной точности.

Толщину стыков односторонних накладок принимают равной толщине поясных уголков.

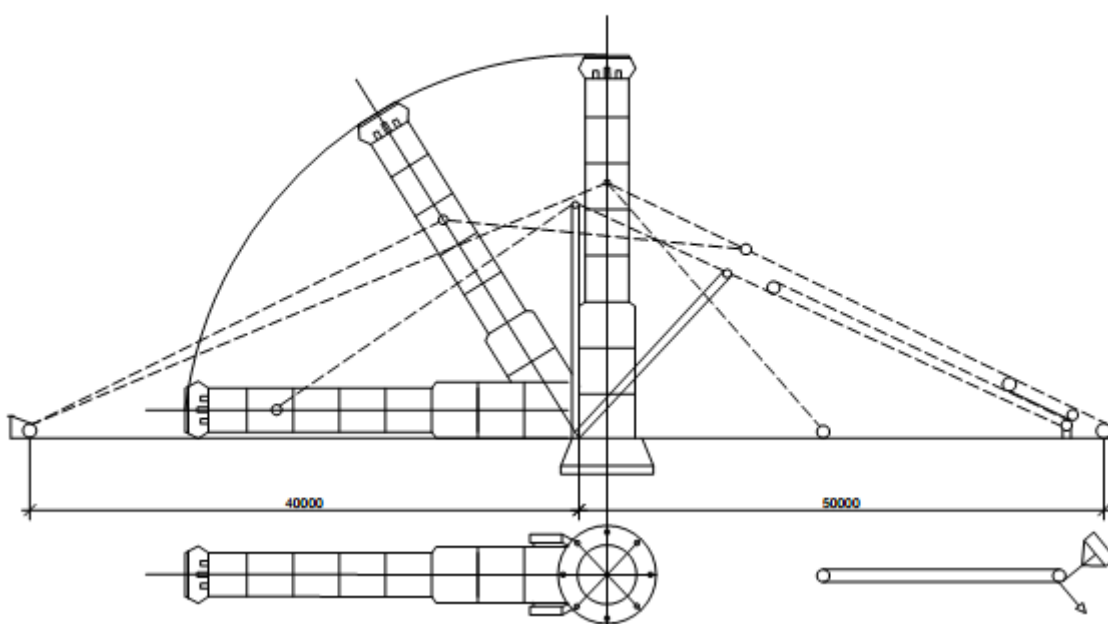
Обычно ставят двусторонние накладки, так как при односторонних болты в худших условиях.

### **3.3. Разработка технологии возведения трубы**

Методом подъема ствола, предварительно собранным в горизонтальном положении, монтируют сборные трубы высотой до 50м, так как с увеличением высоты трубы трудности выполнения работ несоизмеримо возрастают.

Для подъема сборной железобетонной дымовой трубы высотой 30 метров методом падающей стрелы используют

следующее оборудование: шевр длиной 17 м, 32-тонный четырехрольный подъемный полиснаст, якоря массой 300 и 3 т, электролебедки усилием 50000 и 30000 Н, стропы и комплект стальных канатов для установки оборудования. Шевр собирают из двух частей на болтах М24 и устанавливают в вертикальное положение с помощью автокрана. Длину всех канатов регулируют в соответствии с монтажной схемой, так чтобы при натягивании каната в полиснасте шевр занял вертикальное положение. Схема монтажа приведена на рисунке 3.5.



### **Рис.3.5 Монтаж трубы падающим шевром (стрельб)**

**1-первоначальное положение трубы;**

**2-тормозная лебедка;**

**3-промежуточное положение трубы;**

**4-первоначальное положение шевра;**

**5-проектное положение трубы;**

**6-тяговая ветвь;**

**7-промежуточное положение шевра;**

**8-конечное положение шевра;**

**9-грузовая лебедка**

Перед сборкой ствола на нижней цокольной царге монтируют шарнир поворота трубы и закрепляют его на закладных деталях фундамента. Поворотом царги вокруг оси проверяют совпадение каналов с каналами фундамента.

Направление сборки выбирают по наличию свободного пространства для расположения стеллажей для сборки ствола, грузовой и тормозной лебедок и их якорей. В соответствии с этим ориентируют расположение на фундаменте закладных деталей. Ствол собирают на стеллажах с помощью автокрана или трубоукладчика в направлении от цоколя трубы к его головке.

Стыки между царгами заделывают цементно-шамотным раствором и после набора прочности окончательно затягивают

соединительные высокопрочные шпильки. К окончательному собранному стволу закрепляют тяговую ветвь каната на расстоянии 8м от головки трубы.

Грузовую ветвь собирают 5-тонные четырехрольные полисвасти, в которые запаковывают грузовой канат. Один конец каната соединяют с тяговой ветвью, другой через блок, закрепленный на 30 тонном якоре, наматывают на барабан грузовой лебедки. Шевр шарниром поворота устанавливают на закладные детали фундамента и закрепляют. С помощью автокрана на шевр приводят в вертикальное положение. перед подъемом выполняют техническое освидетельствование всей системы.

Главным включением лебедка выбирают канат из полиснаста подъема, трубу отрывают от стеллажей на высоту 15-20 см и выдерживают в течении 10-15 мин, при этом тщательно проверяют механизмы и оборудование, их исправность и надежность. Убедившись в исправности всей системы проводят подъем. До работы тормозной лебедки ее канат должен иметь достаточную слабину. Одновременно с подъемом трубы опускается шевр, когда угол между направлением тяговой и грузовой ветвей каната станет равным  $180^{\circ}$ , шевр выключается из работы -падает (падающая стрела).

В дальнейшем усилие от лебедки напрямую передается на ствол трубы.

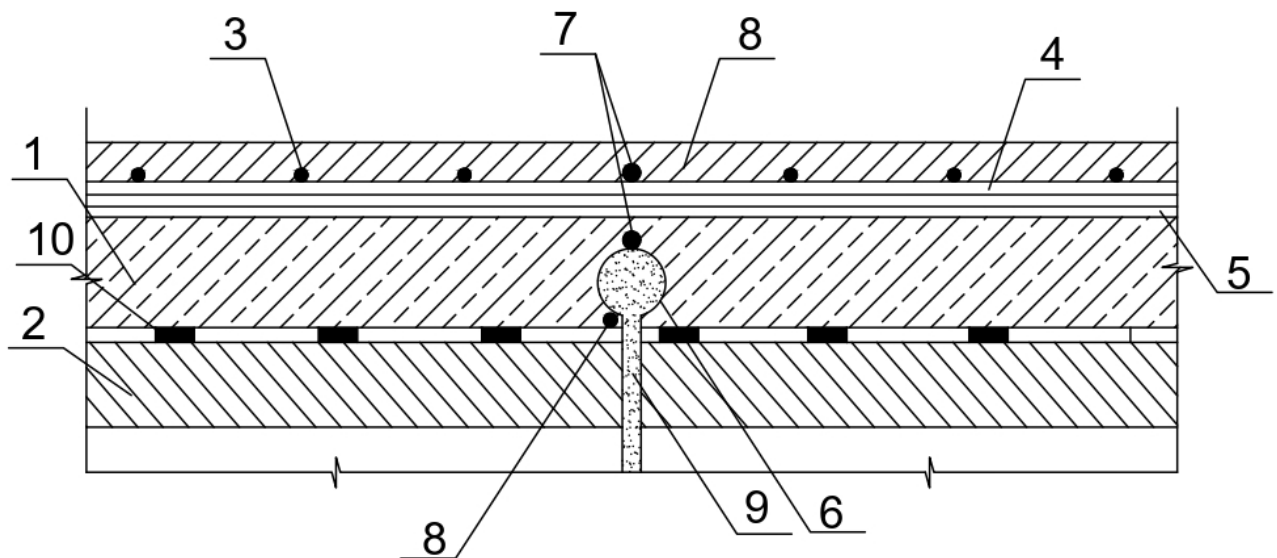
В процессе монтажа усилие, необходимое для подъема трубы постепенно уменьшается. Когда масса такелажной оснастки грузовой ветви и собственная масса трубы, создающие опрокидывающий момент в стороны фундамента, станут равными этому усилию, труба самопроизвольно опрокидывается на



фундамент. На этой стадии плавное опускание трубы регулируют тормозной лебедкой, привод грузовой лебедки отключают.

Вертикальное положение трубы на фундаменте обеспечивают с помощью теодолита и фиксируют установкой и затяжкой соединительных шпилек, стык между стволом и фундаментом заделывают раствором.

Ствол из сборного железобетона выполняется преимущественно цилиндрической формы и собирается из отдельных цилиндрических царг. Горизонтальные швы между царгами заполняются раствором. Ствола высотой 40 м и менее собираются в горизонтальном положении на земле и в готовом виде устанавливаются на фундамент. В этом случае заполнение швов между собой производят по схеме приведенной на рисунке 3.6

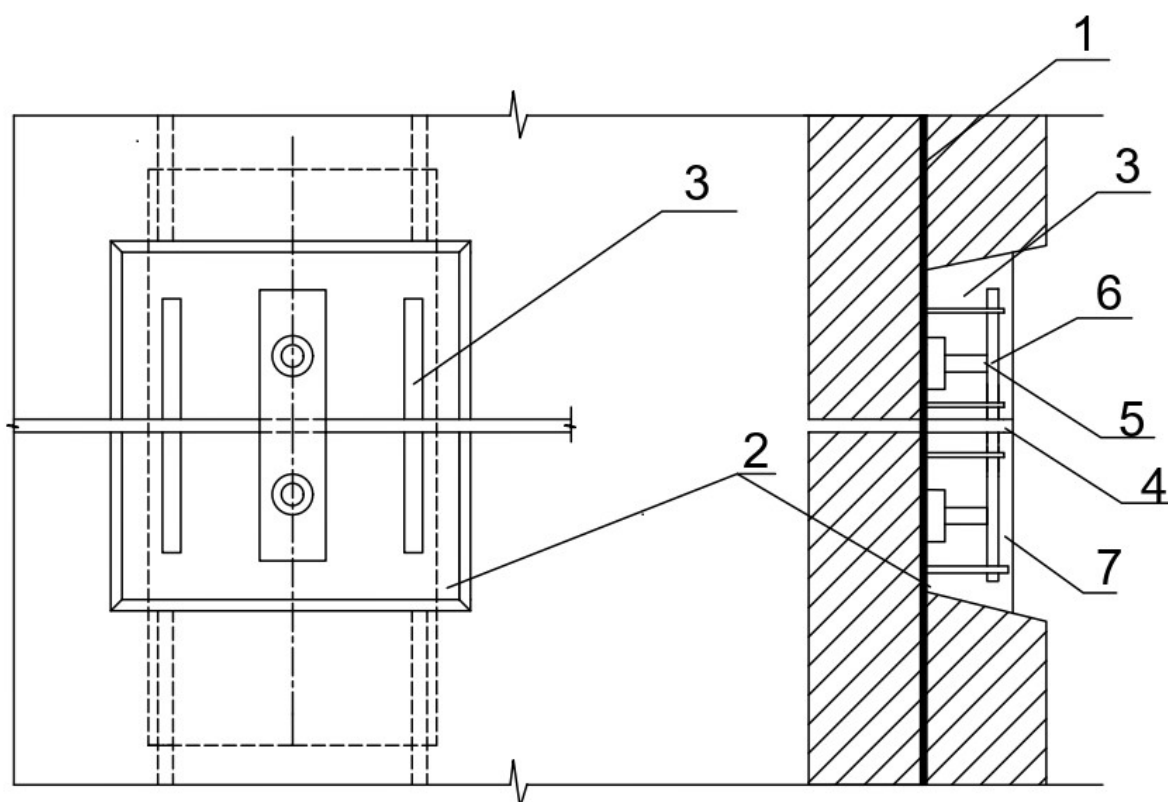


**Рис.3.6. Узел соединения царг предварительно напряженных труб с пучковой арматурой**

- 1-железобетонная стенка трубы;**
- 2-футеровка из жаростойкого керамзитобетона;**
- 3-кольцевая арматура;**
- 4-продольная пучковая арматура;**
- 5- канал для пропуска продольной арматуры;**
- 6-шов заполняемый раствором;**
- 7-резиновые шайбы;**
- 8-шов заполняемый раствором путем чеканки;**
- 9-асбестовое волокно на огнеупорной глине; 10-**
- асбестовый картон 10м**

Стыки элементов сборных труб с ненапрягаемой арматурой выполняют посредством накладок из арматурной стали, привариваемых к стальным косынкам в специальных нишах царг с последующим замоколичиванием ниши раствором.

Схема стыков приведена на рисунке 3.7



**Рисунок 3.7. Деталь стыка продольной арматуры труб из сборных железобетонных царг**

**1-продольная арматура;**

**2-стольная косынка;**

**3-арматурный стержень, привариваемый к косынкам;**

**4-монтажная планка;**

**5-монтажный болт;**

**6-арматурная сетка;**

**7-ниша.**

### **Контроль качества работ**

Контроль качества работ при монтаже сборных железобетонных труб заключается в проверке степени натяжения шпилек крепления, вертикальности ствола, тщательности бетонирования ниши крепления и заделки стыков между царгами. а также за мере системы сопротивления, системы молнезащиты.

Натяжение шпилек лучше всего проверить динамометрическим ключом. при его отсутствии достаточность натяжения определяют гаечным ключом с надетой на него газовой трубой длиной 1м. При хорошем натяжении гайка под его воздействием на должна поворачиваться. Вертикальность трубы проверяют при установке каждой царги теодолитом с двух точек, находящихся под углом 90°.

Перед заделкой ниши каждой царги проверку тщательности натяжения соединительных шпилек фиксируют актом на скрытые работы.

При монтаже ведут журнал работ в котором по общей схеме отражают посменно все рабочие операции, приводят схемы проверки вертикальности ствола и погодные условия.

Материалы применяемые для изготовления бетонных и растворных смесей, используемых для заделки ниши и замоколиванием стыков царг, должны иметь соответствующие паспорта и сертификаты.

### **Техника безопасности**

Монтаж сборных железобетонных труб следует производить в соответствии с проектом производства работ. Площадка для складирования и подготовки царг к монтажу должна быть

спланирована, иметь твердое покрытие и уклон не более 0.003. Площадка стоянки стрелового крана должна иметь бетонное либо илитное покрытие, гарантирующее от просадок во время монтажных операций.

Траверы и другие грузозахватные приспособления должны быть испытаны и снабжены бирками с указанием их грузоподъемности. Царги должны быть установлены на деревянные прокладки в один ярус. Перед перемещением блока к месту монтажа его необходимо вначале поднять на 200-300мм от земли, удерживая на весу, убедиться в надежности страховки и правильности положения и только после этого продолжить монтажные работы.

При скорости ветра более 10 м/сек работы по монтажу трубы должны быть прекращены.

# ГЛАВА 4. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ БЕТОНА ДЛЯ ФУТЕРОВКИ И ТЕХНОЛОГИЯ УСТРОЙСТВА ФУТЕРОВКИ

## 4.1. Физико-механические исследования

В данной работе наиболее полно представлены результаты исследования алюмосиликатного шамотного жаростойкого бетона, наиболее широко применяемого для футеровки тепловых агрегатов.

С этой целью изготавливали образцы (цилиндры) из алюмосиликатного шамотного бетона размерами  $h=65$  мм,  $\phi=25$  методом послойного трамбования из различных составов (табл.4.2) и подвергали их испытаниям на прочность при сжатии после сушки и при данной температуре нагрева. При этом гранулометрический состав шамотного заполнителя был постоянным (табл.4.1.). Результаты этих испытаний представлены на рис.4.1, анализ кривых которого позволяет сделать следующие выводы: повышение содержания в составе бетона силикат-глыбы оказывает влияние на прочность бетона как после сушки, так и при данной температуре. Увеличивая содержания тонкомолотой добавки в композиционном вяжущем, можно более чем в три раза повысить прочность бетона после сушки, т.е. монтажную прочность (рис.4.1, кривые 1,4 и 6,9). Однако в этом случае максимальная температура применения существенно снижается.

При одинаковом содержании портландцемента с увеличением содержания тонкомолотого шамота, боя кирпича с одной стороны. повышает прочность после сушки при средних температурах (кривые 6,8), а с другой - существенно снижается несущая способность при высоких температурах. Таким образом. изменения состав бетона (содержание цемента и тонкомолотой добавки), можно направленно регулировать исходную прочность

и термомеханические свойства материала. Это наводит на мысль, что в условиях нагрева из жаростойкого бетона можно изготовить футеровочные элементы с вариотропным содержанием этих компонентов и тем самым, зная распределение температур по сечению конструкции, добиваться равнопрочности элемента при его одностороннем нагреве, т.е. изменяя содержание тонкомолотой добавки в сторону увеличения к холодной части изделия, можно достичь весьма высокой монтажной и эксплуатационной прочности, тогда появляется возможность в каком-то узком слое изделия, прилегавшем к огню довести до минимума содержание силикат-глыбы и еще больше повысить температуру применения бетона.

Таблица 4.1. Оптимальные гранулометрические составы огнеупорных заполнителей

Заполнитель	Зерновой состав заполнителя по фракциям, мм в % по массе							
	6-3	5-2,5	1,25-0,63	1,2-0,8	0,63-0,5	0,63-0,3	0,2-0,14	Менее 0,14
Алюмосиликатный шамот		50-25	50-30					30-20
Электроплавленный корунд					65-50		20-15	30-20
Карбид кремния				55-60		15-25		20-25
Динас		40-30	30-20			10-20		20-30
Магнезит		20-30	15-20			5-10	20-30	30-20
Хромомагнезит	30-30		20-30			15-10	15-10	30-20
Цирконовый концентрат					65-86			

Таблица 4.2 Составы жаростойкого шамотного бетона на композиционном вяжущем

Состав композиционно вяжущего	Компоненты бетона	Состава бетона, % по массе		
		90	80	70
Молотый карбид-кремний	Заполнитель	90	80	70
Портландцемент	Вяжущее	10	20	30

		Номер состава		
		1	2	3
90	Портландцемент	90	80	70
	Молотый бой кирпич	10	20	30
10				
		Номер состава		
		4	5	6
80	Портландцемент	90	80	70
	Молотый бой кирпич	10	20	30
20				
		Номер состава		
		7	8	9
70	Портландцемент	90	80	70
	Молотый бой кирпич	10	20	30
30				

			<b>60</b>
			<b>50</b>
		2	<b>40</b>
			<b>30</b>
		1	<b>20</b>
			<b>20</b>



10

90

80

70

60%

**Рис.4.1 Зависимость прочности от процента содержания минеральной добавки в композиционном вяжущем:**

**1-шамотный бетон;**

**2-бетон на основе дибазовой группы**

#### **4.2. Теплофизические исследования**

Образец, высушенный до постоянной массы, укладывают на нагревательную плиту и прижимают тепломером. затем устанавливают терморегулятор на заданную температуру и включают нагреватель в сеть. после установления стационарного режима, при котором в течение 30 мин показания тепломера будут постоянными, отмечают показания термопар по шкале потенциометра. Малоинерционный тепломер градуирован и количество тепла, проходящего через образец в направлении перпендикулярном его поверхности, рассчитывают по формуле:

$$Q \cdot K \cdot E \text{ [Вт/(м}^2 \cdot \text{с)],} \quad 4.1$$

где E- электродвижущая сила (ЭДС); K- постоянная тепловая мера, полученная при градуировке

Теплопроводность материала рассчитывают по формуле:

$$\lambda = \frac{Q\delta}{t_1 - t_2}, \quad 4.2$$

где  $\delta$ - толщина образца, м;  $t_1$ - температура горячей поверхности образца, °С;  $t_2$ - температура холодной поверхности образца, °С.

Температуру поверхности образца измеряют с точностью до  $\pm 1^\circ\text{C}$ , а теплопроводность до  $\pm 0,001 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ .

В данной работе исследовано влияние температуры нагревания жаростойкого шамотного бетона в интервала от 200 до 1200°С на его теплопроводность после сушки при 200°С после обжига 1350°С. Для сравнения приведена теплопроводность шамотного огнеупора. результаты исследований показаны на рис.4.2. С повышением температуры теплопроводность огнеупора увеличивается монотонно до 1200 °С ( кривая 1), что объясняется в основном увеличением кондуктивной теплопередачи и стабильностью структуры огнеупора. Теплопроводность бетона после сушки при 200°С (кривая 3) с повышением температуры от 200 до 500°С уменьшается, начиная с 500 и до 900°С на изменяется и с 900 до 1200°С увеличивается.

Уменьшение теплопроводности бетона в интервале температур 200-500°С объясняется увеличением количества аморфного кремнезема по действием щелочи и удалением оставшейся части физически связанной воды и воды, удерживаемой гелем кремниевой кислоты. Постоянство показателя теплопроводности бетона в интервале температур 500-800°С объясняется компенсацией кондуктивной теплопроводности за счет продолжающегося увеличения количества аморфного кремнезема.

Увеличение теплопроводности бетона при температурах 800-1200°С объясняется образованием единичных неправильной формы кристаллов различных силикатов натрия при

взаимодействии диоксида натрия с частью аморфного кремнезема и ростом кондуктивной составляющей всей системы.

Теплопроводность жаростойкого шамотного бетона (рис.4.3), предварительно обожженного при  $1350^{\circ}\text{C}$  (кривая 2), выше, чем у бетона после сушки при  $200^{\circ}\text{C}$  (кривая 3). это объясняется уменьшением количества аморфного кремнезема за счет кристаллизации кристобалита при нагреве бетона до  $1350^{\circ}\text{C}$  и стабилизацией его структуры.

По данным авторов работ [31], теплопроводность уменьшается с увеличением концентрации  $\text{SiO}_2$  в аморфной форме, а образование кристаллических модификаций  $\text{SiO}_2$  способствует увеличению теплопроводности. теплопроводность обожженного огнеупора (кривая 1) несколько выше, чем у обожженного бетона очевидно потому, что в его составе меньше аморфного кремнезема.

Исследование теплофизических характеристик жаростойкого шамотного бетона на композиционном вяжущем, также, как и других бетонов, обусловлено необходимостью получения бетона с коэффициентом линейного температурного расширения [в среднем  $(10-11) \cdot 10^{-6} 1/\text{C}^{\circ}$ ], с теплопроводностью  $\lambda$  не более  $0,5 \text{ Вт} \cdot \text{м} / \text{C}^{\circ}$ , определение температурной деформации под нагрузкой.

Шамотный заполнитель имеет, как следует из теоретических исследований, коэффициент линейного температурного расширения при температуре от  $20$  до  $200^{\circ}\text{C}$   $\alpha = 4 \cdot 10^{-6} 1/\text{C}$ . Исследования жаростойкого шамотного бетона связано с тем, что шамот относится к высокоалюминатным искусственным огнеупорным материалам, содержащим в своем составе большое количество  $\text{Al}_2\text{O}_3$  до  $35\%$ , так как они не снижают огнеупорные свойства цемента.

В результате проведенных исследований установлено, что коэффициент линейного температурного расширения жаростойкого шамотного бетона на КВ оптимального состава при рабочей температуре реакторной установки  $450^{\circ}\text{C}$  равно при первом нагреве  $(3,5\div 4,5)\cdot 10^{-6}1/\text{C}^{\circ}$ , а при повторном нагреве  $(6\div 6,5)\cdot 10^{-6}1/\text{C}^{\circ}$  (рис.4.4), а относительная деформация при первом нагреве  $0,15\div 0,16\%$ , а при повторном нагреве  $0,25\div 0,28\%$  (рис.4.2).

Известно, что теплопроводность, показателем которой служит коэффициент теплопроводности, в большой степени зависит от средней плотности материалов. Средняя плотность исследуемых жаростойких бетонов колеблется от 1730 до 1968  $\text{кг}/\text{м}^3$ . Разница между большим и меньшим значениями составляет всего около 8%. В связи с этим, определение коэффициента теплопроводности изучаемых бетонов производилось на одном составе.

Коэффициент теплопроводности определяли по методике, описанной в главе 2 при температуре 100, 200, 300, 400, 500 и  $600^{\circ}\text{C}$ .

Результаты испытаний в графическом виде приведены на рис.4.3

Анализ результатов исследований показывает, что коэффициент линейного температурного расширения жаростойкого шамотного бетона на КВ  $\lambda = (4\div 3,5)\cdot 10^{-6} 1/\text{C}^{\circ}$  при первом нагреве, а при втором нагреве  $6\div 6,5$ , а относительная деформация  $\varepsilon_{\text{отн.}} = 0,15\div 0,16$  при первом нагреве и  $\varepsilon_{\text{отн.}} = 0,25\div 0,28$  при втором нагреве, теплопроводность  $\lambda$  не более 0,43. При рабочей температуре реакторной установки равно  $450^{\circ}\text{C}$ . По показателям огнеупорности, теплопроводности, относительной деформации и по стойкости оксидов в агрессивной среде

жаростойкий шамотный бетон можно применить для теплоизоляции сводом железобетонных труб из сборных царгов.

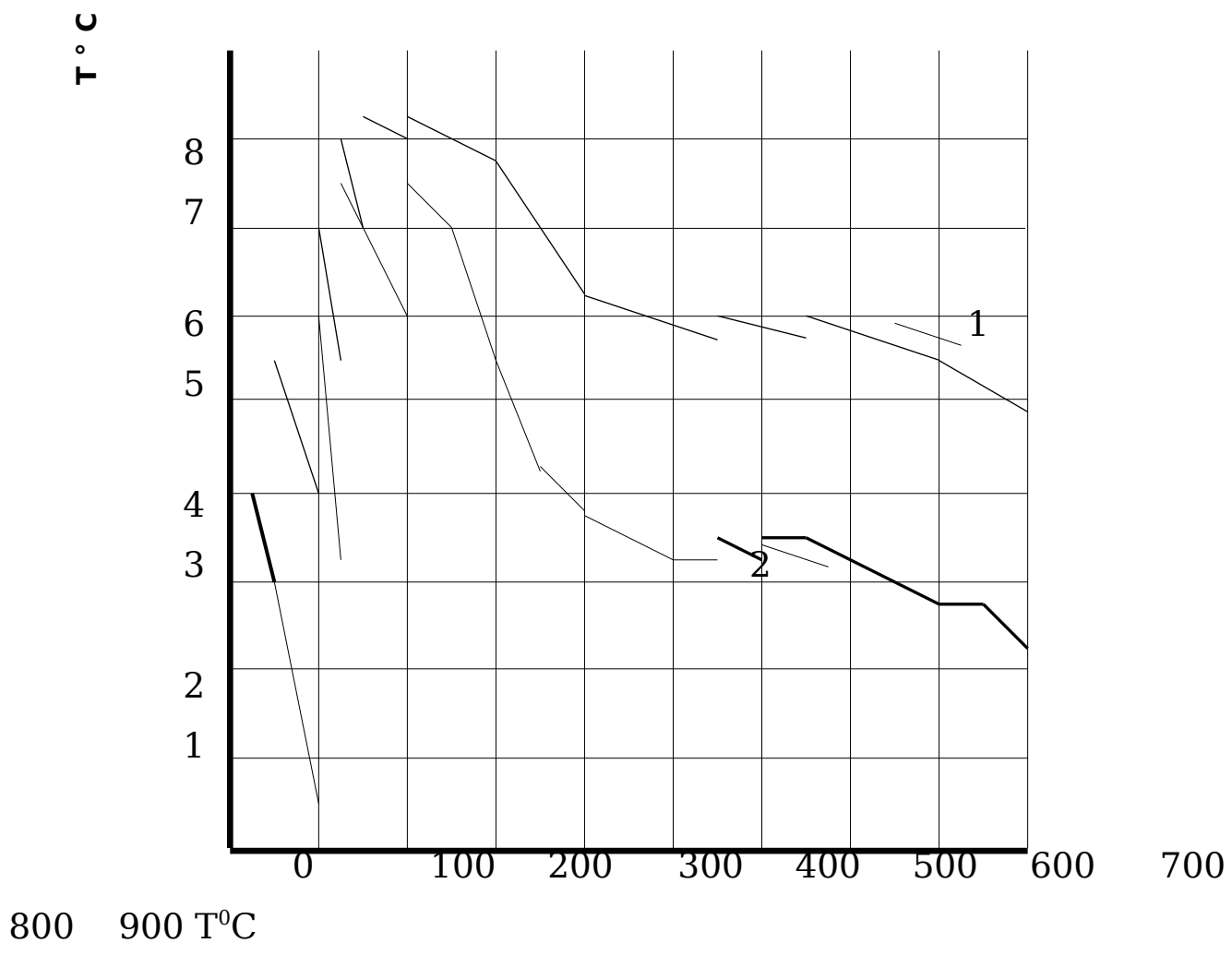
Получены следующие результаты определения теплопроводности бетонов (табл. 4.3).

**Таблица 4.3**

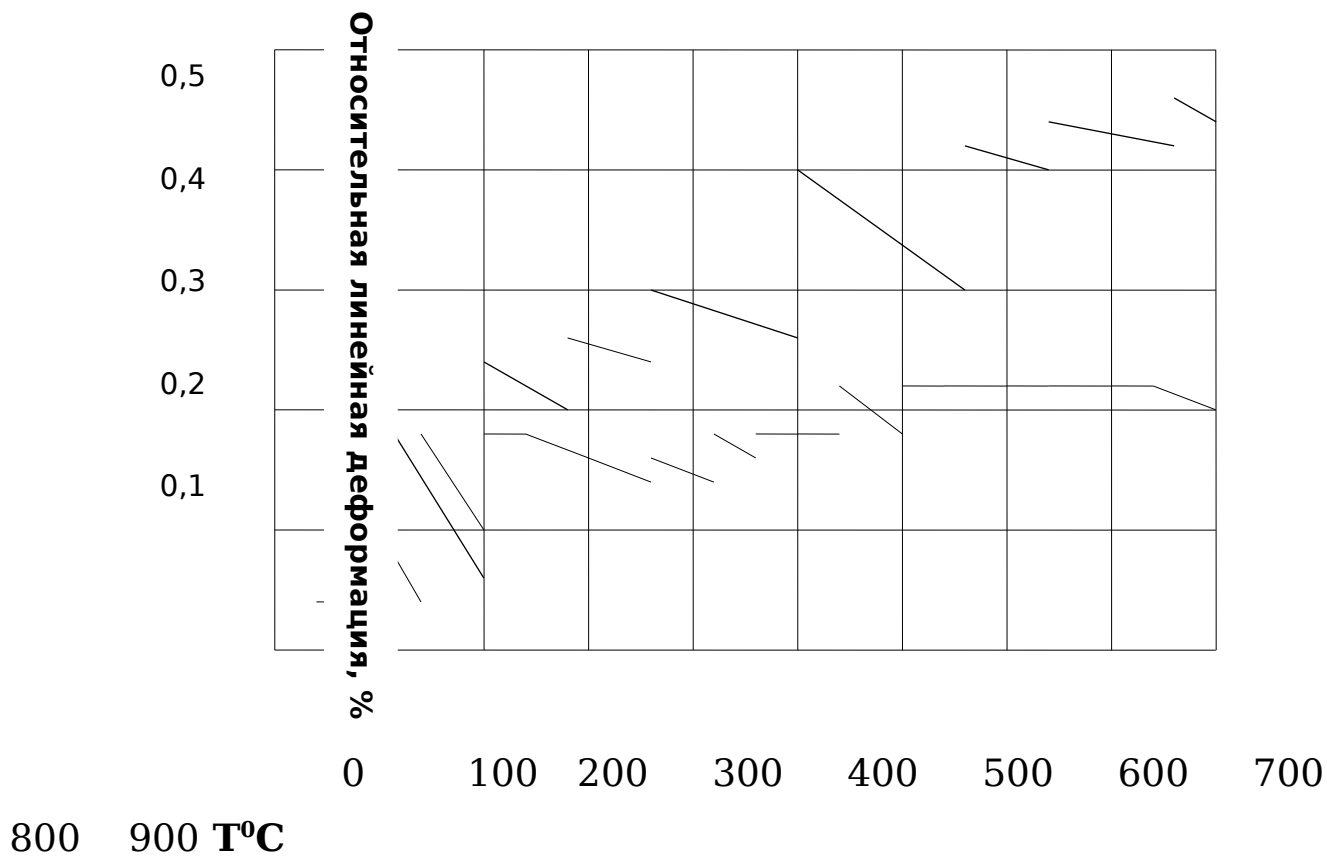
<b>№ состава</b>	<b>После температуры нагрева, °С</b>	<b>Коэффициент теплопроводности, Вт/м.К</b>
1	110	0,37
1	110	0,29
2	110	0,38
3	110	0,42

Примечание: теплопроводность определялась при средней температуре 320-335°С.

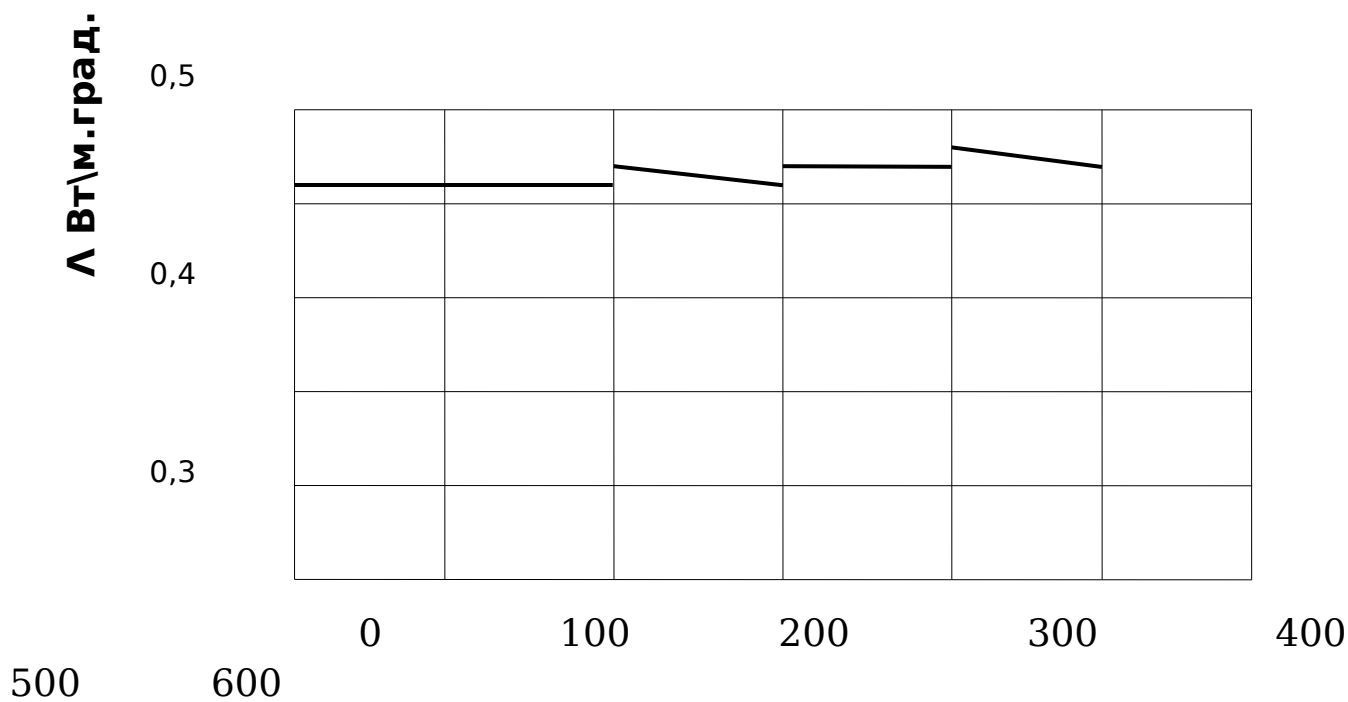
Следовательно, для дымовой трубы можно использовать жаростойкий бетон на композиционном вяжущем с заполнителями из шамота.



**Рис. 4.4. Зависимость КТР  $\alpha$  от температуры  $T$   $^\circ\text{C}$**



**Рис. 4.2. Зависимость относительной линейной деформации от температуры**



**Рис.4.3. Зависимость коэффициента теплопроводности жаростойкого шамотного бетона на КВ от температуры нагревания.**

### **4.3. Технология устройства футеровки**

Футеровка дымовых труб выполняет две функции – защиту несущей конструкции ствола от тепловых и агрессивных воздействий отводимых дымовых газов.

Футеровку устанавливают отдельными звеньями, обычно высотой 10-15 м и толщиной 120-250 мм., опирающимися на консольные выступы ствола. Сопряжения одного звена футеровки с другими предусматривают так, чтобы вышестоящее звено не мешало свободному росту футеровки нижнего пояса.

В цокольной части труб при значительных размерах проемов для подводящих газоходов толщину футеровки принимают в 1,5 кирпича или 380 мм.

Для предотвращения попадания конденсата между стволом и футеровкой сопряжение футерованных звеньев перекрывают слезниковыми поясами из кислотоупорной фасонной керамики. В связи с тем, что возникла необходимость защиты несущего железобетонного ствола трубы от сернокислотной коррозии и появилась конструкция футеровки с применением кислотоупорных изделий и слоя пароватоизоляции, выполнявшейся обычно из мастики битуминоль, хотя иногда применялись и другие покрытия из листовых материалов или эпоксидакаменноугольных ствол. При наличии высоких скоростей дымовых газов (25-40 м/с) в дымовом канале трубы возникает избыточное давление. В связи с этим создается подпор агрессивных дымовых газов, которые проникают через футеровку из штучных керамических изделий к внутренней поверхности



железобетонного ствола, имеющей более низкую температуру по сравнению с температурой дымовых газов. В результате происходит их охлаждение ниже точки росы и на внутренней поверхности ствола трубы выпадает конденсат серной кислоты, что приводит к ускорению процесса коррозии несущих конструкций.

В дымовых трубах с футеровкой в зазор между стволом и футеровкой вентилятором подается дополнительный объем воздуха и в зазоре создается давление превышающее давление дымовых газов в результате чего должна быть исключена фильтрация к несущему стволу трубы. Для повышения трещиностойкости футеровки, воздух, подаваемый в зазор, должен подогреваться, чтобы свести разницу температур на рабочей и наружной ее поверхности к минимуму.

Самым экономически выгодным является монолитная футеровка, конструкция которой позволяет значительно сократить затраты труда, продолжительность работ и их стоимость. Монолитная футеровка из легкого полимерцементного бетона служит для защиты несущего железобетонного ствола дымовых труб. Ускорение технологии возведения труб обеспечивается благодаря тому, что бетонирование ствола и устройства футеровки ведется одновременно. Для сборных железобетонных царг – это одновременное устройство основного конструктивного слоя и футеровки.

#### 4.4.Выводы

1. Жаростойкий бетон с керамзитовым заполнителем на высокоглиноземистом цементе (ВГЦ) при средней плотности  $1710 \text{ кг/м}^3$  имеет прочность при сжатии при температуре  $600^\circ\text{C}$   $11,2 \text{ МПа}$ , при  $450^\circ\text{C}$  –  $13,53 \text{ МПа}$ , теплопроводность ( $\lambda$ )  $0,55 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$  при  $450^\circ\text{C}$  и линейное температурное расширение ( $\alpha$ )  $9 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$  при  $450^\circ\text{C}$ .

2. Жаростойкий бетон с керамзитовым заполнителем на ВГЦ при средней плотности имеет прочность при температуре  $450^\circ\text{C}$  –  $18,78 \text{ МПа}$ , теплопроводность  $0,6 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$  и  $\alpha = 9,1 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$  при  $450^\circ\text{C}$ .

3. Если сравнивать жаростойкие бетоны на ВГЦ с шлакопемзовым заполнителем и керамзитовым, следует отметить, что вторые имеют более высокую прочность при температуре эксплуатации реактора, но более высокие значения теплопроводности при одинаковой средней плотности бетона.

4. Жаростойкий бетон с керамзитовым заполнителем на портландцементе имеет максимальную прочность при сжатии при  $600^\circ\text{C}$  равную  $32,7 \text{ МПа}$  и при  $450^\circ\text{C}$  –  $35,3 \text{ МПа}$ ,  $\lambda = 0,5 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$  и  $\alpha = 10 \div 11 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ .

Следует подчеркнуть, что прочность жаростойких бетонов на портландцементе (ПЦ) при  $450^\circ\text{C}$  значительно больше, чем прочность жаростойких бетонов на ВГЦ.

5. Для жаростойкого бетона на ПЦ целесообразно выполнить термообработку в возрасте 7 суток. В этом случае его прочность при сжатии при  $20^\circ\text{C}$  практически равна прочности в 28 суточном возрасте.

6. На ВГЦ можно получить жаростойкий керамзитоввермикулитобетон плотностью  $1030\text{-}1300 \text{ кг/м}^3$

прочности (11,8÷9,2) МПа в возрасте 1-3 суток с коэффициентом теплопроводности (0,29÷0,42) Вт/м·К при температуре 300-450°C. Этот вид бетона можно использовать в шахте реактора в местах соединения лайнеров.

### **Исследование ползучести жаростойкого шамотного бетона на композиционном вяжущем**

В данной работе для анализа и сравнения приведен результат исследования ползучести жаростойкого шамотного бетона на глиноземистом цементе. Работы по исследованию ползучести жаростойкого шамотного бетона на глиноземистом цементе проводил Харламов В.А. [25] под научным руководством действительного члена АС и АССР доктора технических наук профессора Мурашова В.И. в начале 60-х годов прошлого столетия. По нашим данным в этот период в работе Харламова В.А. использовался глиноземистый цемент Ленинградского завода огнеупоров и вяжущих с содержанием  $Al_2O_3$  до 50-65%.

В связи с этим исследованием приведенным Харламовым В.А. можно привести для обобщения и анализа с точки зрения его тепловых агрегата и спецсооружениях. Ползучесть оказывает существенное влияние на работу сводов печей и несущих конструкций, особенно обогреваемых со всех сторон. К этим конструкциям относятся: кольцевые стены в камерах сжигания металлургических печей, стены различных тепловых агрегатов, столбы и своды.

При определенной температуре и нагрузке ползучесть может привести конструкцию к значительным деформациям, исключающим возможность дальнейшей ее эксплуатации.

В работе [25] жаростойкий шамотный на глиноземистом цементе испытывался на длительное воздействие температуры и нагрузки. В результате приведенных исследований, были получены кривые ползучести при нормальной температуре и до температуры 1000°C.

При 100°C образцы под действием нагрузки равной 0,3-0,5 от призменной прочности с течением времени пластически деформировались (рис.4.31). наибольшее изменение интенсивности пластических деформаций наблюдалось в первые трое суток. в дальнейшем они изменялись значительно медленнее и постепенно затухали. абсолютные величины полных деформаций малы. так, при нагрузке равной 0,5 от призменной прочности, действующей на образец в течение 21 суток, относительные деформации не превышали  $1,5 \cdot 10^{-3}$ .

При температуре 400°C наблюдается дальнейшее некоторое увеличение деформативности бетона (рис. 4.5), увеличиваются как упругие, так и пластические деформации. пластические деформации увеличиваются в большей степени, чем упругие. Наибольшее развитие деформаций ползучести наблюдалось в первые 7-8 суток. образец с нагрузкой  $0,17 \Gamma_{\text{пр.т}}$  к концу испытаний не показал видимого прироста деформаций. образцы с нагрузкой 0,32 и 0,6  $\Gamma_{\text{пр.т}}$  в конце испытаний были разгружены и у них наблюдался эффект упругого последствия. деформация бетона, находящегося под нагрузкой 0,6  $\Gamma_{\text{пр.т}}$ , через 35 суток достигла  $3,0 \cdot 10^{-3}$ .

Увеличение деформативности бетона отмечалось при температуре 500°C (рис. 4.6) образец с нагрузкой  $0,7 \Gamma_{\text{пр.т}}$  имел полные деформации, равные  $3,5 \cdot 10^{-3}$  уже на 21 сутки. в первые 10-12 суток пластические деформации сильно увеличиваются. в

дальнейшем наблюдается равномерное изменение деформаций с постоянной скоростью ползучести.

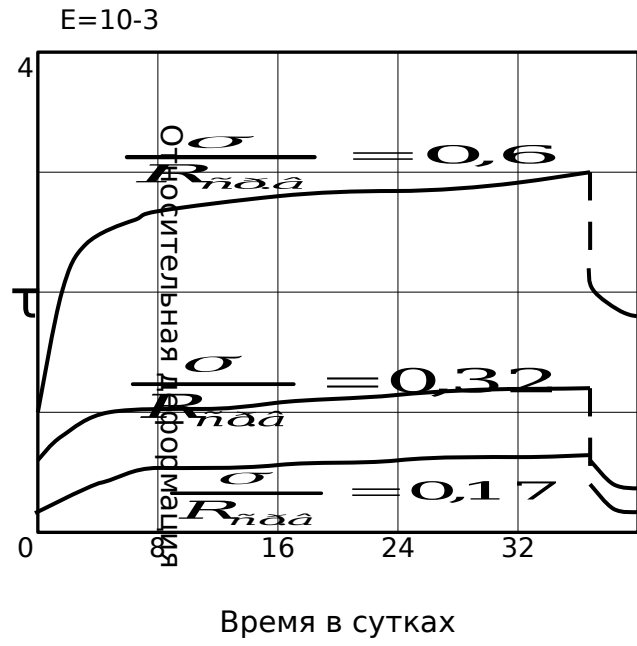
Увеличение деформативности бетона отмечалось при температуре 500<sup>0</sup>С (рис. 4.7). Образец с нагрузкой 0,7  $r_{пр.т}$  имел полные деформации равные  $3,5 \cdot 10^{-3}$  уже на 21 сутки. В первые 10-12 суток пластические деформации сильно увеличиваются. В дальнейшем наблюдается равномерное изменение деформаций с постоянной скоростью ползучести.

Эффект упругого последствия наблюдался у образца с нагрузкой 0,33  $r_{пр.т}$ , после того как его на 34 сутки разгрузили и выдерживали при постоянной температуре 6 суток.

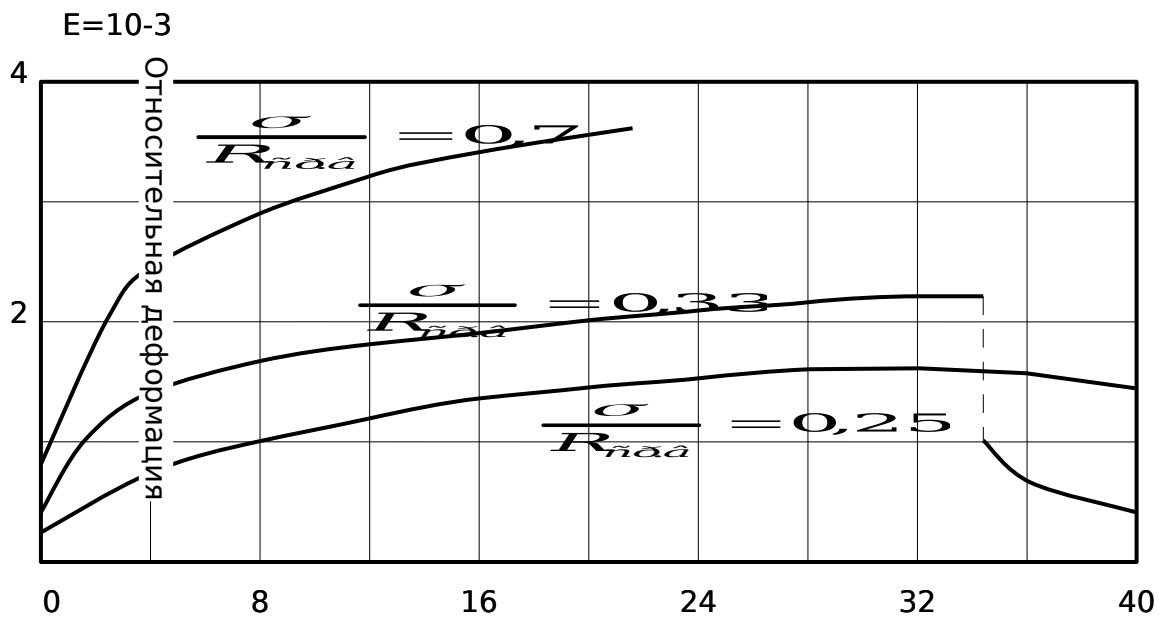
При 650<sup>0</sup>С (Рис. 4.8) даже при нагрузке 0,32  $R_{пр.т}$  полные деформации бетона на 24 сутки достигли  $3,5 \cdot 10^{-3}$ . Упругие деформации составляют уже небольшую часть полных испытаний жаростойкого шамотного бетона на глиноземистом цементе.



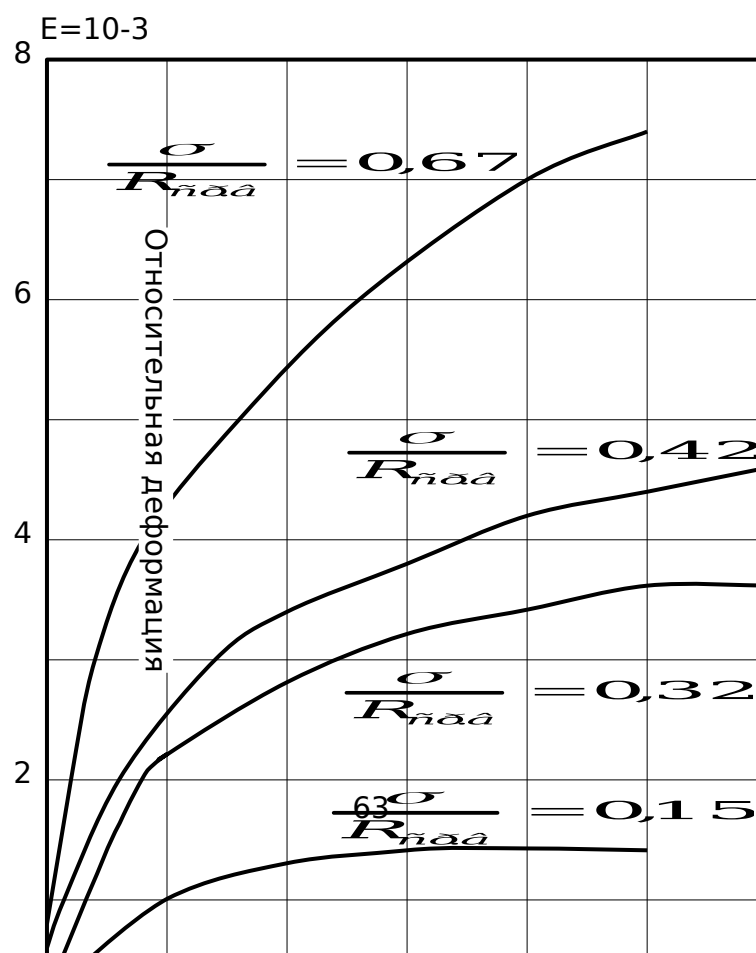
**Рис.4.5. Деформация ползучести жаростойкого шамотного бетона на КВ при нормальной температуре**

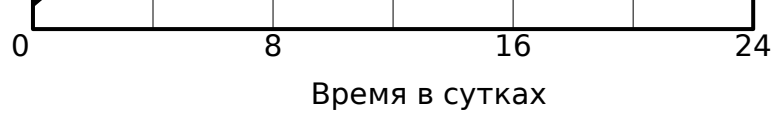


**Рис.4.6. Деформация ползучести жаростойкого шамотного бетона на КВ при температуре 400°С.**



**Рис.4.7. Деформация ползучести жаростойкого шамотного бетона на КВ при температуре 500°С.**





**Рис.4.8. Деформация ползучести жаростойкого шамотного бетона на КВ при температуре 650°С.**

**Испытания жаростойкого шамотного бетона на КВ  
показали:**

1. При длительном действии на бетон постоянных температуры и нагрузки имеют место деформации ползучести, которые тем больше, чем выше величина обоих воздействующих факторов.

Особенно резкое увеличение ползучести бетона наблюдалось при температурах свыше 500°С.

2. Скорость ползучести бетона первые 10-20 суток все время затухает. Затем она принимает либо стационарный характер, либо затухает окончательно в зависимости от величины нагрузки.



3. Коэффициент пластичности бетона первые 2-4 суток при всех температурах быстро возрастает, а модуль упругопластичности падает. В дальнейшем изменение этих характеристик значительно уменьшается. При температурах свыше  $400^{\circ}\text{C}$  коэффициент пластичности бетона резко увеличивается, а модуль упругопластичности падает.

Кроме пластических деформаций в бетоне при его первом нагреве практически при любой скорости загрузки проявляются дополнительные значительные неупругие деформации. Большая величина этих деформаций по сравнению с неупругими деформациями бетона в обычных температурно-влажностных условиях, объясняется влиянием высокой температуры и изменением влажности бетона. Эти неупругие деформации являются деформациями вязкого течения бетона (деформациями ползучести), принято [26] учитывать их также с помощью коэффициента упругости  $\nu$ , величина которого принимается в зависимости не только от температуры бетона, но и от времени ее действия. Для наших целей целесообразно рассматривать нагретый бетон, как упруго-вязкий материал. При этом появляется возможность проанализировать физическую природу неупругих деформаций бетона в зависимости от его технологических параметров.

Источником неупругих деформаций в нагретом бетоне являются его отклонения от структуры сплошного однородного и изотропного материала. Пористая структура кристаллического скелета цементного камня с жидкими или пластическими компонентами (водой, гидросиликатами и другими соединениями) будет обладать сложным неупругим сопротивлением, это сопротивление обусловлено взаимодействием между движением жидкости и пара в паровом

пространстве и непрерывным увеличением плотности цементного камня за счет сдвигов в его кристаллической основе и изменения объема пор, эти явления накладываются на те рассеивания энергии при неупругих деформациях, которые происходят:

1. взаимодействия механической энергии с потоком тепловой энергии и с диффузией влаги и пара;

2. вязкого течения составляющих цементный камень компонентов;

3. внутреннего трения, развивающегося при скольжении кристаллов в кристаллическом сростке цементного камня.

Вязкие деформации бетона при нагреве можно учитывать с помощью коэффициента эффективной динамической вязкости твердого тела ( $\eta$ ). Эффективная динамическая вязкость бетона определяется при постоянных напряжениях за период времени  $\Delta\tau$  при изменении относительных деформаций образца за это время на величину  $\varepsilon_n$ . например, для центрально-сжатых образцов

$$\eta = \frac{\sigma \cdot \Delta\tau (1 - \varepsilon_n)}{3 \cdot \varepsilon_n} \quad (4.3)$$

Вязкость показывает способность твердого тела испытывать деформации вязкого течения в зависимости от действующих напряжений и времени их приложения.

Понятие вязкости для материалов, нагретых до высокой температуры, используется в керамике, стекольной промышленности.

Величина обратной вязкости бетона непосредственно связана с изменением его удельной ползучести.

$$\frac{d\left(\frac{\varepsilon_n}{\sigma}\right)}{d\tau} = \frac{1}{\eta} \quad (4.4)$$

Это подтверждают результаты непосредственно экспериментальных исследований ползучести нагретого бетона, особенно, опыты Маршала, который пришел к выводу, что при первом нагреве влажного бетона

$$\frac{\dot{\varepsilon}}{\varepsilon} \sim e^{\frac{\Delta H}{RT}} \quad (4.5)$$

Вязкость бетона позволяет относительно установить связь неупругих деформаций бетона с его технологическими параметрами и процессами тепло- и массопереноса. например, если вязкость заполняется значительно больше вязкости геля цементного камня  $\eta_1$  и вязкости механически связанной влаги  $\eta_2$ , то можно записать:

$$\frac{1}{\eta} = \frac{V_1}{\eta_1} + \frac{V_2}{\eta_2} \quad (4.6)$$

объем геля цементного камня на единицу объема бетона

$$V_1 = \frac{Ц}{\rho_ц} [1 + 0,25 \cdot m (1 - \xi_x)] \quad (4.7)$$

объем механически связанной влаги

$$V_2 = \frac{Ц}{\rho_в} [B/Ц - 0,25 \cdot m (1 - \xi_x)] \cdot (1 - \xi_m) \psi \quad (4.8)$$

где  $ц$  – расход цемента на 1 м<sup>3</sup> бетона, кг;

$\rho_ц$  и  $\rho_в$  – объемные массы соответственно цемента и воды, кг/м<sup>3</sup>;

$m$  – коэффициент, учитывающий степень гидратации цемента [16];

$\psi$  – коэффициент, учитывающий испарение влаги из бетона от момента изготовления до начала сушки;

0,75 – коэффициент, учитывающий изменение объема воды при гидратации цемента [96];

$\xi_x$  – коэффициент фазового перехода химически связанной влаги;

$\xi_m$  – коэффициент фазового перехода механически связанной влаги;

учитывая зависимость вязкости твердой и жидкой фаз от энергии активации  $\Delta u \approx 3200-3800$  ккал/моль газовой постоянной  $R$  и температуры  $T$ , можно записать

$$\frac{1}{\eta} = V_1 A_e \frac{\Delta U}{RT} + V_2 BT \quad (4.9)$$

где  $a$  – коэффициент, зависящий от напряжений;

$b$  – коэффициент пропорциональности.

Анализ формул показывает, что удельная ползучесть бетона с увеличением расхода цемента, с повышением в/ц бетона, влажности его до нагрева и температуры. большое влияние на ползучесть оказывает изменение вязкости твердой и жидкой фаз, а также фазовый переход влаги.

Приведенный анализ ползучести в зависимости от ряда технологических факторов позволяет объяснить различия в значениях ползучести влажного бетона в зависимости от времени приложения нагрузки: до нагрева или после нагрева до определенной температуры. При загрузке бетона до нагрева его ползучесть значительно больше, так как процесс испарения влаги происходит одновременно с действием нагрузки. При загрузке после нагрева до определенной температуры часть или вся вода пор и капилляров уже испарится и естественно, деформации ползучести в этом случае будут меньше, чем в первом, в этом случае большое значение имеет начальная влажность бетона.

Вязкость является функцией энергии активации вязкого течения, она показывает, какую энергию нужно при данной температуре затратить на преодоление сил притяжения между частицами и перемещения одной частицы в новое, обусловленное

действием напряжений положения. Я.И.Френкель [69] предложил, что энергия активации состоит из слагаемых; из энергии образования полости, в которую может перемещаться частица, и дополнительной энергии активации перемещения частицы в эту образовавшуюся полость (похоже на диффузию), следовательно, в соответствии с теорией активизированных процессов, можно было бы теоретическим путем вычислить вязкость в зависимости от температуры для твердых тел.

Между вязкостью и обычно принятыми для учета деформации ползучести и  $\gamma$  существует следующая связь

$$\eta = \frac{\Delta\tau}{3} \left( \frac{E_0}{\gamma(t)} \right) \quad (4.10)$$

$$\eta = \frac{\Delta\tau}{3} \left( \frac{E_0}{\frac{1}{\nu(\tau)} - 1} - \sigma \right) \quad (4.11)$$

Значения  $\nu(\tau)$  и  $\gamma$  будет зависеть от мер, для скорости нагрева 1<sup>0</sup>С час значения  $\nu(\tau)$  при  $t > 100^{\circ}\text{C}$  для жаростойкого бетона на портландцементе  $\nu(\tau) = 0,02 - 0,22$ , как и на жидком стекле  $\nu(\tau) = 0,01 \div 0,08$  малы, что это приведет к значительной релаксации собственных напряжений в бетоне.

При увеличении скорости нагрева до 10<sup>0</sup>с/час величина коэффициента  $\nu(\tau)$  увеличивается в 4-5 раз, а при скорости

нагрева  $\frac{dT}{d\tau} = T$  бетон на портландцементе будет деформироваться почти, как упругий материал, а бетон в жидком стекле будет все же иметь значительные неупругие деформации в зоне фазового перехода воды в пар в структуре бетона.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Анализ минералогической базы Республики Дагестан показал, что на территории горной западно-южной части республики имеются запасы минерального сырья, которые могут быть использованы для получения жаростойких бетонов с температурой применения 700-800<sup>0</sup>С. К таким минералам относятся: диабаз, базальт и диорит.

2. Для жаростойких бетонов, эксплуатируемых при температуре до 1000<sup>0</sup>С можно применять керамзитовый щебень производства Кизилюртовского керамзитового завода на основе глин из Буйнакского месторождения.

3. Республика Дагестан обладает минералогической и технической базой для получения жаростойкого композиционного на основе портландцемента с минеральной добавкой из тонкомолотых керамического кирпича, обожженный аргеллитовой глины, керамзитового песка и др.

4. Для изготовления железобетонный царг дымовых труб, эксплуатируемых при температуре до 700<sup>0</sup>С и подверженных агрессивному воздействию, в качестве заполнителя можно использовать базальт, диабаз или диорит на композиционном вяжущем без устройства футеровки.

5. В связи с ужесточением экологических норм, норм охраны окружающей среды, уменьшились выбросы вредных вещества в атмосферу и нет необходимости возведения высоких дымовых труб высотой 100 и более метров и актуальным является дымовые трубы более компактные и экономичные высотой до 25-30 м.

6. Трубы высотой до 25-30 метров можно возводить методом подъема с поворотом, применяя монтажные мачты или шевры,

собирая трубу в горизонтальном положении из отдельных железобетонных царг.

7. Применение метода поворота вокруг шарнира уменьшает трудоемкость, продолжительность и стоимость возведения дымовых труб.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болотин В.В. Влияние технологических факторов на механическую надежность конструкций из композитов. - Механика полимеров 1972 г., ТЗ.С.529-540
2. Боженков П.И., Трейман Е.А. Метод расчета зернового состава мелкозернистого заполнителя для плотных автоклавных материалов. Межвузовский тематический сборник. Сбю МИСИ, 1976 , N1, С.118-123
3. Будников П.П. и др. технология керамики и огнеупоров.-М.: Промстройиздат, 1995.-698 с.
4. Бутт Ю.М., Рашкович Л.Н. Твердение вяжущих при повышенных температурах -М.: Гостройиздат, 1962, -189 с.
5. Бутт Ю.М., Окорочков С.Д., Сычев М.М. и др. Технология вяжущих веществ. / Под.ред. Ю.М. Бутта, М. Высшая школа. 1965. -619
6. Горчаков Г.И., Лифанов Г.И., Лифанов И.И., Терехин Л.Н. Коэффициента температурного расширения и температурные деформации строительных материалов. -М.: Изд.Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР, 1969 - 167 с.
7. Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. -М.: Высшая школа, 1981. - 335 с.
8. Горяйнов К.Э., Горяйнова С.К. Технология теплоизоляционных материалов и изделий. - М.: Стройиздат. 1982. -376 с.
9. Зедгинидзе И.Т. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. -М.: Наука, 1976, 377 с.



10. Кузнецов А.К. Сб. Методы измерения теплового расширения стекол и спаиваемых с ними металлы: Из-во Наука. Л., 1967, -С.
11. Лагойда А.В. Прогнозирование прочности бетона при повышенных температурах выдерживания. // Бетон и железобетон. 1994. -N4, -С. 11-13
12. Наценко А.И. Термостойкость хрупких материалов. Киев. Наукова думка, 1969, с.189-208
13. Некрасов К.Д., Жуков В.В., Шевченко В.И. Исследование крупных блоков из жаростойкого бетона при одностороннем нагрева. Огнеупоры, 1967, N6, С. 21-26
14. Останина Н.М., Колечкова А.Ф.. Применение спектрального метода для химического состава магнезитового и доломитового сырья и огнеупоров. / Труды ВИО. 1969, N41, С.135-147
15. Писаренко Г.С. Прочность материалов и элементов конструкции в экстремальных условиях. - Киев.: Наукова думка. т.1 1980. -535 с.
16. Стрелов К.К. Структура и свойства огнеупоров. М.: Металлургия. 1972. - 216 с.
17. Sowizol J. C.Overview USA experien with linings and coating for concrete chimneys. Atlanta GA.1991
18. Sowizol J. Chimneys for wetgcrubbler pover plant application -CICIND REPORT 1996 vol.13
19. Schewetzer G3 Wallpaper and claddihg technignes for chinney linings -Fmerican power cayfereng Mariot Dow ntown Chicago 1993
20. Erts B.W. Kochan F. Protection of chinneys against asid attacf and environmtnt condition -CICIND REPORT 1999 vol.15

21. ВСН 286-90 ММСС СССР «Проектирование железобетонных дымовых труб»
22. Шишков И.А., Лебедев В.Г., Беляев Д.С. «Дымовые трубы энергетических установок- М., 1976
23. Руденко В.В., Панин А.С., Жолудов В.С., Ставрицкая Л.В. «Тепловая изоляция в промышленности и строительстве» -М, 1976
24. Елышин А.М., Ижорин М.Н., Жолудов В.С., Овчаренко Е.Т. «Дымовые трубы, - М Стройиздат 2001
25. Харламов В.А. «Ползучесть жароупорных бетонов при высоких температурах, диссертация на соискание ученой степени к.т.н.-НИИЖБ, 1960 г.
26. Жуков В.В., Райнхард Б. «Определение скорости нагрева конструкций из жаростойкого бетона». Труды международной конференции по жаростойкому бетону. Варна, 1972 г.
27. Некрасов К.Д. Состояние и перспективы развития научных исследований жаростойкого бетона. М:Стройиздат, 1981, с14-31
28. Инструкция по проектированию, изоляции оборудования и трубопроводов промышленных предприятий. СН-542-81/Госстрой СССР - М.: Стройиздат, 1993-72 с.
29. Фенер К.Н. Классические работы по физико-химии силикатов: ОНТМ - Л.Химстройиздат, 1934 -С9-14
30. Соколова А.О., Визильтер В.С. Подъемно-транспортные и такелажное оборудование для монтажа строительных конструкций -М: Стройиздат, 1987-С114-118
31. Литовский Е.Я. Переносные свойства вещества. Тепло и массоперенос -Минск: АН ВССР, 1972 г.7- С424-432.
32. ГОСТ 4069-69

- 33.**   ГОСТ 1-90
- 34.**   ГОСТ 7875-56.
- 35.**   ГОСТ 2409-14
- 36.**   ГОСТ 30744-2001
- 37.**   ГОСТ Р56300-2014
- 38.**   10180-2012