

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тюменский индустриальный университет»



В.А. Солонина М.П. Зелиг Ю.Ф. Панченко Д.А. Панченко

Минераловатные теплоизоляционные материалы и изделия

Учебное пособие



Москва 2024

УДК 691
ББК 38.3
С 606

Рецензенты: Бутакова Марина Дмитриевна – доцент, канд. техн. наук, доцент кафедры Строительные материалы и изделия Архитектурно-строительного института Южно-Уральского государственного университета (НИУ).

Медведева Эльза Назифовна – доцент, канд. техн. наук, доцент кафедры Строительные материалы Строительного института Тюменского индустриального университета.

Солонина, Валентина Анатольевна

Зелиг, Марина Петровна

Панченко, Юлия Федоровна

Панченко, Дмитрий Алексеевич

С 606 Минераловатные теплоизоляционные материалы и изделия. Учебное пособие – М.: Мир науки, 2024. – Режим доступа: <https://izd-mn.com/PDF/22MNNPU24.pdf> – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-907731-64-6

DOI: 10.15862/22MNNPU24

Учебное пособие «Минераловатные теплоизоляционные материалы и изделия» предназначено для обучающихся направления подготовки 08.03.01 «Строительство» всех форм обучения.

Содержит описание технологических процессов производства изделий из силикатного расплава и применяемого оборудования, информацию о видах и свойствах изделий на основе минеральных волокон с учетом области их применения, а также подробное изложение методик определения основных характеристик изделий в соответствии с требованиями ГОСТ и ИСО.

ISBN 978-5-907731-64-6

© Солонина Валентина Анатольевна

© Зелиг Марина Петровна

© Панченко Юлия Федоровна

© Панченко Дмитрий Алексеевич

© ООО Издательство «Мир науки», 2024 г.

Оглавление

Термины и определения.....	5
Введение	8
1. Виды и свойства теплоизоляционных материалов	10
1.1. Классификация строительных теплоизоляционных материалов и изделий	10
1.2. Основные свойства теплоизоляционных материалов	11
2. Технология получения минераловатных изделий	19
2.1. Сырьевые материалы	19
2.2. Расчет состава шихты для получения силикатного расплава	21
2.3. Получение силикатного расплава.....	23
2.4. Способы переработки расплава в волокно	27
2.5. Формирование ковра.....	32
2.6. Связующие вещества для получения минераловатных изделий	32
2.7. Способы нанесения связующего на волокно	34
2.8. Тепловая обработка плит.....	36
2.9. Снижение водопоглощения и повышение водостойкости минераловатных изделий	37
3. Изделия из минеральной ваты	40
3.1. Минеральная вата.....	41
3.2. Маты из минеральной ваты прошивные.....	42
3.3. Плиты из минеральной ваты на синтетическом связующем, теплоизоляционные.....	44
4. Испытание минеральной ваты и изделий на основе минеральной ваты	51
4.1. Измерение линейных размеров.....	51
4.2. Измерение линейных размеров минераловатных и стекловатных матов и плит в соответствии с ИСО 8144 и ИСО 8145	54
4.3. Контроль внешнего вида изделия.....	58
4.4. Контроль правильности геометрической формы.....	58
4.5. Контроль правильности геометрической формы минераловатных и стекловатных матов и плит в соответствии с ИСО 8144 и ИСО 8145	59

4.6. Определение плотности рыхлых волокнистых материалов	62
4.7. Определение плотности изделий на основе минеральной ваты (плоских, фасонных и шнуровых изделий)	63
4.8. Метод определения влажности	64
4.9. Ускоренный метод определения сорбционной влажности	64
4.10. Метод определения водопоглощения	65
4.11. Метод определения содержания органических веществ	67
4.12. Метод определения полноты поликонденсации фенолоформальдегидного связующего	68
4.13. Метод определения прочности на сжатие при 10 %-ной линейной деформации	70
4.14. Определение прочности на сжатие минераловатных и стекловатных плит в соответствии с ИСО 8145	70
4.15. Метод определения предела прочности при сжатии	72
4.16. Метод определения предела прочности при изгибе	72
4.17. Метод определения разрушающей силы при испытании на изгиб минераловатных и стекловатных плит в соответствии с ИСО 8145	73
4.18. Метод определения предела прочности при растяжении	74
4.19. Метод определения предела прочности на отрыв слоев минераловатных и стекловатных плит в соответствии с ИСО 8145	75
4.20. Метод определения сжимаемости и упругости	77
4.21. Метод определения гибкости	78
4.22. Метод определения среднего диаметра волокон минеральной и стеклянной ваты	79
4.23. Определение содержания неволокнистых включений	81
4.23.1. Метод определения с помощью устройства (сухой метод)	81
4.23.2. Суспензионный («мокрый») метод определения	82
4.24. Определение теплопроводности	83
4.25. Метод ускоренного определения модуля кислотности минеральной ваты	86
Список литературы	90

Термины и определения:

Теплоизоляционный материал – материал, предназначенный для уменьшения теплопереноса, теплоизоляционные свойства которого зависят от его химического состава и/или физической структуры.

Теплоизоляционное изделие – теплоизоляционный материал в виде готового изделия, включая любые облицовки или покрытие.

Композиционное теплоизоляционное изделие – теплоизоляционное изделие, изготовленное из двух или более слоев различных теплоизоляционных материалов, в которых каждый слой изоляции соединен с соседним слоем (слоями).

Алюмосиликатная вата (aluminosilicate wool, ASW) – аморфная высокотемпературная изоляционная вата, получаемая в результате плавления комбинации Al_2O_3 и SiO_2 . Примечание: Может содержать ZrO_2 и Cr_2O_3 .

Волокнистая теплоизоляция – теплоизоляционный материал, состоящий из природных или искусственно полученных волокон.

Минеральная волокнистая теплоизоляция – теплоизоляционный материал, состоящий из неметаллических неорганических волокон.

Керамическое волокно – неорганическое волокно, полученное из оксидов металлов или глины.

Минеральная вата, MW – волокнистый теплоизоляционный материал, изготовленный из расплава горных пород, шлака или стекла.

Стекловатная вата, стекловата – минеральная вата, полученная в основном из расплава природного песка или стекла.

Каменная вата – минеральная вата, полученная преимущественно из расплава изверженных горных пород.

Шлаковая вата – минеральная вата, полученная преимущественно из расплава доменного шлака.

Рыхлая вата – минеральная вата или другие материалы, имеющие структуру ваты, с произвольной ориентацией волокон, изготовленная с добавлением связующего вещества или без него.

Поликристаллическая вата, PCW – вата, сформированная из волокон, полученных золь-гель методом с последующей их термической обработкой для получения поликристаллической структуры.

Щелочноземельная силикатная вата, AES – аморфная высокотемпературная изоляционная вата, обладающая низкой биостойкостью и получаемая преимущественно плавлением комбинации CaO , MgO и SiO_2 .

Вата, укладываемая пневматическим способом – гранулированная вата или насыпная теплоизоляция, предназначенная для укладки с помощью пневматического оборудования.

Гранулированная вата – теплоизоляционное изделие, полученное из минеральной ваты или других материалов, имеющих структуру ваты, путем ее механического разделения на кусочки округлой неправильной формы.

Насыпная вата – гранулированное волокнистое теплоизоляционное изделие, наносимое ручным способом или методом засыпки.

Кэшированная теплоизоляция – теплоизоляционный материал или теплоизоляционное изделие, защищенные от воздействия высоких температур и/или абразивных воздействий, а также других воздействий с помощью приклеивания более теплостойкого и/или абразивостойкого материала.

Плита (полужесткая; жесткая) – теплоизоляционное изделие прямоугольной формы, с прямоугольным поперечным сечением, толщина которого существенно меньше других размеров и неизменна по всему изделию. Примечание: изделия могут также поставляться в виде плит с линейно изменяющейся толщиной.

Криволинейная плита – готовое теплоизоляционное изделие, поперечное сечение которого в продольном направлении является прямоугольным, а в поперечном имеет форму дуги или кольца, внутренний диаметр которого, как правило, превышает 1,5 м. Примечание: изделия применяют для теплоизоляции труб большого диаметра, цилиндрических коробов и резервуаров. Трубы небольших диаметров теплоизолируют, как правило, с помощью теплоизоляционных цилиндров.

Прошивной мат – гибкий теплоизоляционный материал с облицовкой, как правило, с одной или обеих сторон или без нее или полностью закрытый тканью, проволочной сеткой, просечно-вытяжным металлическим листом или аналогичным покрытием, механически соединенным с мягкой теплоизоляционной плитой.

Прошивной мат с металлической сеткой – изоляционный мат, покрытый с одной или обеих сторон облицовкой в виде гибкой металлической сетки.

Мат – гибкое волокнистое теплоизоляционное изделие, поставляемое свернутым в виде рулона или в развернутом виде, которое может быть облицовано или полностью закрыто.

Мягкая плита – часть мата длиной от 1 до 3 м, имеющая прямоугольную форму и поставляемая, как правило, в плоском или свернутом виде.

Рулон – форма поставки теплоизоляционного изделия в виде спирально свернутого цилиндра.

Обшивка (сегмент) – жесткое или полужесткое теплоизоляционное изделие, применяемое для теплоизоляции оборудования, имеющего форму цилиндра или сферы большого диаметра.

Изоляция для труб – теплоизоляционное изделие, предназначенное для установки на трубу.

Введение

Проблема энергоресурсосбережения и повышения уровня энергоэффективности зданий и сооружений была и является в настоящее время чрезвычайно актуальной проблемой, в рамках современного экономического кризиса, который продолжительное время только набирает обороты. Уменьшение объема потребляемых природных ресурсов, используемых для систем отопления, вентиляции и кондиционирования, является важнейшей задачей, поскольку эти ресурсы ограничены.

В процессе эксплуатации здания или сооружения, могут происходить значительные потери тепла, что приводит к неэффективному отоплению и вынужденному расходу тепла. Так, по мнению экспертов, потери тепла через стены составляют 30-40% от общих теплопотерь, через окна - 30-35%, через плиты перекрытия подвала и чердака – 30-45%, а через входные двери – 6-9%. Поэтому, чтобы действительно снизить потери тепла в зданиях и сооружениях, необходимо принять ряд мер по утеплению всех ограждающих конструкций здания (наружных стен, подвальных и чердачных перекрытий, кровли).

Основной путь снижения энергозатрат на отопление зданий лежит в повышении термического сопротивления ограждающих конструкций с помощью теплоизоляционных материалов. Подсчитано, что 1 м³ теплоизоляции обеспечивает экономию 1,4 - 1,6 т условного топлива в год.

Неорганические теплоизоляционные материалы повсеместно используются в строительстве. Многообразие теплоизоляционных изделий основано на сравнительно небольшом перечне исходных сырьевых материалов. При этом современные технологические приемы производства позволяют получать широкую линейку теплоизоляционных изделий по видам и свойствам применительно к различным условиям их эксплуатации.

Среди широкой номенклатуры теплоизоляционных материалов лидирующее место по объемам производства и применения как в России, так и за рубежом занимают изделия на основе минерального волокна. Они не горючи, не подвержены воздействиям микроорганизмов, стабильны при перепадах температур, отличаются доступностью в отношении сырьевой базы.

Впервые шлаковая вата была получена в 1840 г. в Англии, а в 1864 г. было организовано ее промышленное производство. С 1880 г. ее начали производить в Германии.

Изначально вату получали из огненно-жидких доменных шлаков, раздувая их сжатым воздухом или паром, позднее стали использовать охлажденные доменные шлаки путем их вторичного расплавления с кислыми или основными добавками в вагранках.

В США вата была получена лабораторным путем в 1850 г., но промышленное производство ее было организовано только в 1870 г.

В последующие годы XIX в. Производство ваты организовано во Франции, Швеции, Австрии и других странах.

Бурное развитие минераловатной промышленности в Европейских странах началось в 30-е годы. Если в 1929 г. функционировало 8 предприятий, то в 1933 г. – 33, а в 1937 г. уже 60 заводов осуществляли выпуск продукции.

В России минеральная вата впервые была изготовлена на Урале (Белорецкий металлургический завод). Получали ее при воздействии паровой струи на шлак, вытекающий непосредственно из летки доменной печи. Но в дореволюционной России промышленности теплоизоляционных материалов как самостоятельной отрасли не существовало. На тот период теплоизоляционные материалы применялись в незначительных объемах и в основном ввозились из-за границы.

1. Виды и свойства теплоизоляционных материалов

1.1. Классификация строительных теплоизоляционных материалов и изделий

1. По виду основного исходного сырья:

- *неорганические;*
- *органические.*

*Материалы, изготовленные из смеси органического и неорганического сырья, относят к органическим, если количество последних в смеси превышает 15 % по массе.

2. По структуре:

- *волокнистые;*
- *ячеистые* в зависимости от вида вяжущего компонента на:
 - *цементном вяжущем;*
 - *смешанных вяжущих;*
 - *бесцементные.*
- *вспененные* подразделяют на:
 - *полимерные* (пенополистирол, пенополиэтилен, пенополиуретан и др.);
 - *минеральные* (пеностекло).

3. По форме поставки:

- *на рыхлые* (керамзит, перлит и др.);
- *плоские* (плиты, блоки, маты, панели и др.);
- *фасонные* (цилиндры, полуцилиндры, сегменты и др.);
- *шнуровые.*

4. По горючести (ГОСТ 30244):

- *горючие (Г);*
- *негорючие (НГ).*

5. По содержанию связующего вещества:

- *содержащие связующее вещество;*
- *не содержащие связующее вещество (несвязанная теплоизоляция).*

6. По области применения (назначению):

- *материалы и изделия для оснований, фундаментов, систем мощения, полов, плоских инверсионных кровель с уклоном $< 10\%$;*
- *для покрытий, кровель (за исключением инверсионных кровель), перекрытий;*
- *для стеновых ограждающих конструкций (в том числе в составе стеновых конструкций и конструктивных элементов здания) и перегородок;*
- *для систем внешней фасадной теплоизоляции.*

Строительные теплоизоляционные материалы и изделия должны удовлетворять следующим требованиям:

- иметь теплопроводность в сухом состоянии не более $0,07 \text{ Вт/(м К)}$ при средней температуре испытуемого образца 10 К ;
- иметь показатель термического сопротивления не менее $0,14 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт}$;
- иметь плотность не более 300 кг/м^3 ;

– иметь стабильные физико-механические и теплотехнические свойства в пределах срока службы здания или сооружения согласно таблице 1.1 [11].;

Таблица 1.1 – Рекомендуемые сроки службы зданий и сооружений

Наименование объектов	Примерный срок службы
Временные здания и сооружения (бытовки строительных рабочих и вахтового персонала, временные склады, летние павильоны и т. п.)	10 лет
Сооружения, эксплуатируемые в условиях сильноагрессивных сред (сосуды и резервуары, трубопроводы предприятий нефтеперерабатывающей, газовой и химической промышленности, сооружения в условиях морской среды и т. п.)	Не менее 25 лет
Здания и сооружения массового строительства в обычных условиях эксплуатации (здания жилищно-гражданского и производственного строительства)	Не менее 50 лет
Уникальные здания и сооружения (здания основных музеев, хранилищ национальных и культурных ценностей, произведения монументального искусства, стадионы, театры, здания высотой более 75 м, большепролетные сооружения и т. п.)	100 лет и более

– показатель водопоглощения при длительном полном погружении (28 сут.) для теплоизоляционных материалов, применяемых при теплоизоляции заглубленных, подземных конструкций, цоколей, систем мощения, полов по грунту, полов в помещениях с мокрым режимом эксплуатации, плоских инверсионных кровель с уклоном $<10\%$ не должен превышать $0,7\%$ по объему;

– обеспечивать выполнение санитарно-эпидемиологических и гигиенических требований, установленных в [16].

1.2. Основные свойства теплоизоляционных материалов

Функциональные свойства теплоизоляционных материалов (определяют эффективность и основные направления применения теплоизоляционных материалов)

1. **Теплопроводность** – способность материала проводить через свою толщу тепловой поток, возникающий под влиянием разности температур на поверхностях, ограничивающий материал (1.1):

$$Q = \frac{\lambda F \tau (t_1 - t_2)}{\delta} \quad (1.1)$$

где Q – количество теплоты, кДж; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); F – площадь, через которое проходит теплота, м²; τ – время, ч; $(t_1 - t_2)$ – разность температур на горячей и холодной сторонах материала, К; δ – толщина стены, м.

Теплопроводность учитывается при расчете ограждающих конструкций для обеспечения:

- тепловой изоляции зданий и сооружений;
- тепловой защиты поверхностей тепловых агрегатов и трубопроводов;

- термостойкости огнеупорных материалов и специальных составов;
- хладоизоляции.

Теплопроводность оценивается *коэффициентом теплопроводности* λ (Вт/м·К), который равен количеству теплоты, проходящей через стену из материала толщиной в 1 м и площадью 1 м² в течение 1 ч при разности температур на противоположных поверхностях в 1 градус Цельсия.

Величина коэффициента теплопроводности зависит от ряда факторов:

- состава и внутреннего строения материала;
- пористости;
- влажности и температуры материала.

Механизм переноса тепловой энергии в веществах, находящихся в различных агрегатных состояниях, неодинаков. В газах и жидкостях он осуществляется хаотически движущимися молекулами, образующими однородную среду, в твердых телах – за счет взаимодействия соседних атомов решетки.

В зависимости от агрегатного состояния веществ и особенностей переноса ими тепловой энергии условный ряд тел по величине их теплопроводности (по мере возрастания) может иметь следующий вид:

Газы < полимеры < жидкости < стекла < кристаллы < металлы

Теплопроводность является векторной величиной, ее суммарное значение для гетерогенных систем зависит не только от количественного соотношения фаз, но и от их взаимного расположения, характера пограничного слоя, степени непрерывности фаз, что необходимо учитывать при соответствующих расчетах.

У *волокнистых* и *слоистых* материалов теплопроводность зависит от направления теплового потока: *параллельно* или *перпендикулярно* направлению волокон или слоев.

Общая теплопроводность теплоизоляционных материалов определяется теплопроводностями твердых $\lambda_{\text{ТВ}}$ и газовых фаз $\lambda_{\text{газ}}$ (1.2):

$$\lambda = \lambda_{\text{ТВ}} + \lambda_{\text{газ}} \quad (1.2)$$

При передаче теплоты тепловой поток проходит через твердый каркас и воздушные ячейки пористого материала. Теплопроводность воздуха в неподвижном состоянии ($\lambda = 0,023$ Вт/(м·К)) меньше, чем теплопроводность твердого вещества, из которого состоит каркас строительного материала: чем выше пористость, тем ниже коэффициент теплопроводности.

Теплота через воздушный слой передается с помощью теплового движения молекул, конвекцией и излучением.

Конвективный (в движущихся средах) теплообмен увеличивается по мере роста размеров пор и воздушных прослоек, связывающих эти поры.

Для теплоизоляционных материалов предпочтительно мелкопористое строение с замкнутыми порами – это затрудняет теплопередачу конвекцией.

Для снижения теплопроводности необходимо по направлению передачи теплоты создать препятствие, т.е. усложнить процесс.

Теплопроводность определяется физическим методом с помощью точной аппаратуры по ГОСТ 7076 «Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме», графическим методом и по эмпирическим формулам.

Коэффициент теплопроводности большинства теплоизоляционных материалов ориентировочно можно рассчитать по формуле В.П. Некрасова (1.3):

$$\lambda = 1,16\sqrt{0,0196 + 0,22d^2} - 0,16 \quad (1.3)$$

где d – относительная плотность материала по отношению к плотности дистиллированной воды $d = \rho/\rho_в$.

Коэффициент теплопроводности минераловатных изделий рассчитывается по эмпирической формуле 1.4:

$$\lambda = 1,163 \cdot (0,03 + 0,00007 \cdot \rho_{cp}) \quad (1.4)$$

Коэффициент теплопроводности пенопластов с закрытой пористостью (жесткий пенополиуретан, экструзионный пенополистирол и др.) можно рассчитать по формуле 1.5:

$$\lambda = 0,026 + 0,00008 \cdot \rho_{cp} \quad (1.5)$$

Коэффициент теплопроводности пенопластов с открытой пористостью (карбомидный пенопласт, эластичный пенополиуретан) можно рассчитать по формуле 1.6:

$$\lambda = 1,16 \cdot (0,026 + 0,00036 \cdot \rho_{cp}) \quad (1.6)$$

где ρ_{cp} – плотность материала, кг/м³.

Теплопроводность пористых материалов резко возрастает при увлажнении и особенно замерзании воды в порах материала, так как $\lambda_{возд} = 0,023$; $\lambda_{воды} = 0,55$, что в 25 раз выше, чем у воздуха; $\lambda_{льда} = 2,3 \text{ Вт/(м·К)}$ в 100 раз выше, чем у воздуха.

Коэффициент теплопроводности влажных материалов рассчитывают по формуле 1.7:

$$\lambda_w = \lambda_c + \delta \cdot W_o \quad (1.7)$$

где λ_w , λ_c – теплопроводность влажного и сухого материала, Вт/(м·К); W_o – объемная влажность материала, %; δ – приращение теплопроводности на 1% объемной влажности, $\delta = 0,002 \text{ Вт/(м·К)}$ – для неорганических материалов при положительной температуре, $\delta = 0,003 \text{ Вт/(м·К)}$ – для органических, $\delta = 0,004 \text{ Вт/(м·К)}$ – при отрицательной температуре.

Установлено, что повышение температуры приводит к линейному возрастанию коэффициента теплопроводности.

Для пересчета значений теплопроводности, полученных при 273 К, на значениях их при других температурах служит эмпирическая формула 1.8:

$$\lambda_t = \lambda_0(1 + \beta_t) \quad (1.8)$$

где λ_t, λ_0 – теплопроводность материала соответственно при температуре t и 273 К, Вт/(м·К); β_t – коэффициент, показывающий приращение теплопроводности на 1 К повышения температуры.

Для неорганических материалов $\beta = 0,002$ при положительной температуре и $\beta = 0,004$ при отрицательной.

Для органических материалов соответственно $\beta = 0,003$ и $\beta = 0,004$.

В зависимости от значений теплопроводности теплоизоляционные материалы разделяют на классы (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Классификация теплоизоляционных материалов по теплопроводности

Обозначение классов	Наименование классов по теплопроводности	Теплопроводность Вт/(м·К) при 298 К (26 °С)
А	Низкой теплопроводности	до 0,06
Б	Средней теплопроводности	свыше 0,06 до 0,115
В	Повышенной теплопроводности	свыше 0,115 до 0,175

2. Пористость – степень заполнения естественного объема изделия ($V_{ест}$) порами (V_n), %

$$P_0 = \left(1 - \frac{V_n}{V_{ест}}\right) \cdot 100\% \quad (1.9)$$

Определить пористость можно экспериментально-расчетным методом (1.10):

$$P_0 = \left(1 - \frac{\rho_{ср}}{\rho_{ист}}\right) \cdot 100\% \quad (1.10)$$

где $\rho_{ср}$ – средняя плотность материала, кг/м³; $\rho_{ист}$ – истинная плотность материала, кг/м³.

Для получения эффективных ТИМ необходимо, чтобы пористость была максимальна, т.е. $P \rightarrow 100\%$.

Пористость подразделяется на открытую и закрытую (1.11):

$$P_0 = P_{отк} + P_3 \quad (1.11)$$

Открытая пористость $P_{отк}$ определяется по величине объемного водопоглощения (1.12):

$$P_{отк} = \frac{m_{нас} - m_{сух}}{V_{ест} \cdot \rho_v} \cdot 100\% \quad (1.12)$$

где $m_{сух}$ и $m_{нас}$ – масса соответственно в сухом и насыщенном водой состоянии, кг; $V_{ест}$ – объем материала, м³; ρ_v – плотность воды, кг/м³.

3. **Плотность** ρ , кг/м³, теплоизоляционных материалов определяют в соответствии со стандартной методикой ГОСТ 17177 и вычисляют по формуле 1.13:

$$\rho = \frac{m}{V_{ест} \cdot (1 + 0,01W)} \quad (1.13)$$

где m – масса изделия (образца), кг; W – влажность изделия (образца), %; $V_{ест}$ – объем, м³.

4. Прочность при сжатии, изгибе, растяжении

Для теплоизоляционных материалов прочность – это условие сохранения целостности структуры и формы. Обычно прочность $R_{сж}$ не превышает 0,5...0,7 МПа и может колебаться для различных ТИМ от 0,03 до 1,5...2,5 МПа. Максимальная прочность при сжатии характерна для ячеистого стекла, при плотности $\rho = 170...300$ кг/м³ $R_{сж} = 1,5...2,5...5,0$ МПа; для легких бетонов (газобетон) – 1,0...1,5 МПа; минимальная прочность у не прессованных пенопластов (фенольный, карбамидный) – 0,03...0,05 МПа.

Прочность при изгибе $R_{изг}$ обычно определяют для волокнистых материалов (минераловатные, древесно-волокнистые плиты).

5. **Жесткость** определяется по результатам испытаний материалов на сжимаемость (ГОСТ 17177).

Сжимаемость (деформативность), определяющая направление применения изделия:

- *мягкие материалы (М)* $\varepsilon > 30\%$ при $P = 0,002$ МПа (маты, полосы и другие гибкие изделия, применяемые для изоляции криволинейных элементов и не нагружаемых горизонтальных поверхностей);
- *полужесткие (П)* $30 > \varepsilon > 6\%$ при $P = 0,002$ МПа (плиты для горизонтального использования без нагрузки);
- *жесткие (Ж)* $\varepsilon < 10\%$ при $P = 0,04$ МПа (для трехслойных ж/б панелей, сэндвич-панелей, навесных фасадов);
- *плиты повышенной жесткости (ПЖ)* $\varepsilon < 10\%$ при $P = 0,04...0,1$ МПа (для устройства навесных фасадов, плоской эксплуатируемой (несущей) кровли).

Таблица 1.3 – Виды теплоизоляционных материалов по жесткости

Обозначение	Наименование видов изделий	Величина относительного сжатия, ε , % при удельной нагрузке в МПа		
		0,002	0,04	0,1
М	мягкие	свыше 30	-	-
П	полужесткие	от 6 до 30	-	-
Ж	жесткие	до 6	-	-
ПЖ	повышенной жесткости	-	до 10	-
Т	твердые	-	-	до 10

6. Водостойкость – способность материала сохранять прочность в насыщенном водой состоянии. Оценивается по коэффициенту размягчения $K_{\text{разм}}$, определяемому по формуле 1.14:

$$K_{\text{разм}} = \frac{R_{\text{нас}}}{R_{\text{сух}}} \quad (1.14)$$

Для водостойких материалов $K_{\text{разм}} \geq 0,8$ (минеральная вата, бетоны, ячеистое стекло, керамика, пенопласты).

Арболит, ДВП, торфоплиты, фибролит содержат древесный наполнитель, который набухает, изделия могут деформироваться, $K_{\text{разм}}$ для этих материалов 0,4 - 0,5.

7. Водопоглощение характеризуется количеством воды, которое поглощает сухой материал при погружении и выдерживании в ней, отнесенным к массе сухого материала (водопоглощение по массе W_m), к объёму материала в сухом состоянии (водопоглощение по объёму W_v):

$$W_m = \frac{m_{\text{нас}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \cdot 100\% \quad (1.15)$$

$$W_v = \frac{m_{\text{нас}} - m_{\text{сух}}}{V_{\text{ест}} \cdot \rho_v} \cdot 100\% \quad (1.16)$$

$$W_v = d_0 \cdot W_m \quad (1.17)$$

где $m_{\text{сух}}$ и $m_{\text{нас}}$ – масса соответственно в сухом и насыщенном водой состоянии; $V_{\text{ест}}$ – объем материала; ρ_v – плотность воды; d – относительная плотность.

8. Гигроскопичность (сорбционное увлажнение) – способность поглощать водяной пар из влажного воздуха.

Гигроскопичность колеблется в значительных пределах и зависит от характера, размера пор, влажности среды. Минимальное значение гигроскопичности характерно для материалов с закрытыми порами средних размеров. Расчетная формула сорбционного увлажнения 1.18:

$$W_{\text{сорб}} = \frac{m_{\text{вл}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \cdot 100\% \quad (1.18)$$

9. Паропроницаемость (мг/м·ч·Па) – способность материала пропускать водяные пары, содержащиеся в воздухе, под действием разности их парциальных давлений на противоположных поверхностях материала.

Влага, проникая в слой материала ограждения с теплой стороны, увлажняет его, а при снижении температуры ниже нуля – замерзает, что приводит к разрушению. Расчетная формула паропроницаемости (1.19):

$$\mu = \frac{M \cdot h}{S \cdot t \cdot P} \quad (1.19)$$

где μ – коэффициент паропроницаемости; M – количество водяного пара, прошедшего через образец за интервал времени t ; h – толщина образца;

S – площадь образца; P – разность значений парциального давления водяного пара на образце.

При диффузии через слой материала водяной пар на своем пути встречает сопротивление материала. Это сопротивление называют **сопротивлением паропрооницанию** R ($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$) – величиной, численно равной разности парциального давления водяного пара, Па, у противоположных сторон изделия, при которой через площадь, равную 1 м^2 , за 1 ч проходит 1 мг водяного пара при равенстве температуры воздуха у противоположных сторон (1.20).

$$R = \frac{\delta}{\mu} \quad (1.20)$$

Значение μ необходимо учитывать при проектировании теплоизоляции ограждающих конструкций, поскольку паронепроницаемые материалы вызывают значительное сопротивление диффузии водяных паров, что требует дополнительного кондиционирования помещений.

10. Теплоёмкость – способность материала поглощать (аккумулировать) теплоту при нагревании.

Теплоёмкость оценивается величиной удельной теплоёмкости, равной количеству теплоты, которое необходимо для нагревания 1 кг материала на 1 К :

$$C = \frac{Q}{m \cdot (t_2 - t_1)} \quad (1.21)$$

где C – удельная теплоёмкость, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ($\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$); Q – количество теплоты, Дж (кДж); m – масса материала, кг ; $(t_2 - t_1)$ – разность температур, К .

Удельная теплоёмкость материала зависит от его природы и в незначительной степени от пористости. Органические материалы имеют значительно большую C , чем минеральные, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$:

Древесно-волоконистые плиты, древесина	2,4...2,7
Пенопласты, битумные материалы	1,09...2,3
Бетоны, растворы, минеральная вата	0,75...0,9
Металлы и стекло	0,48

Чем выше теплоёмкость материала, тем больше теплоты он аккумулирует при повышении температуры окружающей среды (дольше нагревается) и тем больше выделяется теплоты при снижении температуры окружающей среды, тем самым поддерживается температурный режим в помещении.

В деревянных домах тепло зимой и прохладно летом. Показатели теплоёмкости разных материалов нужны для расчета теплоустойчивости ограждающих конструкций, при выборе высокотемпературной теплоизоляции.

Одним из главных показателей для ТИМ является **долговечность**.

Под **долговечностью** понимается срок службы материала без потери им эксплуатационных показателей, определяется комплексным сочетанием следующих свойств:

– **водостойкость** – способность материала сохранять в водонасыщенном состоянии физико-механические свойства;

– *термостойкость* – способность материала сохранять технические свойства при нагревании до определенной температуры или при циклическом действии температур (нагрев – охлаждение);

– *морозостойкость* – способность выдерживать в водонасыщенном состоянии циклическое замораживание и оттаивание без признаков разрушения и без снижения прочности;

– *атмосферостойкость* – способность материала сопротивляться агрессивному действию внешней среды, сохранять без изменения внешний вид и механические характеристики;

– *биологическая стойкость* – способность материалов сопротивляться биологическим воздействиям, которые связаны с поражением грибами, насекомыми, прорастанием растений, воздействием органогенных агрессивных сред.

2. Технология получения минераловатных изделий

2.1. Сырьевые материалы

В зависимости от исходного сырья различают следующие виды волокон: минеральное, шлаковое, стеклянное, каолиновое, волластанитовое, зольное и др. Они имеют разный химический состав, что определяет температуру их применения.

Для производства минеральной ваты используют различные горные породы (осадочные, изверженные и метаморфические), способные образовывать силикатные расплавы.

Анализ применяемых в отечественной и зарубежной практике сырьевых материалов показывает, что наиболее качественную и долговечную минеральную вату, соответствующую мировому уровню можно получать из шихт на основе горных пород габбро-базальтового типа. Небольшая добавка карбонатных пород (известняков или доломитов) доводит их модуль кислотности до 1,7...2,5. Использование этого сырья дает возможность получать минеральное волокно и изделия на его основе, обладающие повышенными эксплуатационными свойствами (химически стойкие, водостойкие и температуростойкие), с высокими физико-механическими и теплотехническими показателями. Часть этих пород пригодна для применения в качестве однокомпонентной шихты. Путем специальной термообработки можно получать кристаллизующееся минеральное волокно с рабочей температурой применения до 1000 °С.

Базальтовые породы – это однокомпонентное сырье, обогащение, плавление и гомогенизация которого произведены в результате древней вулканической деятельности. Особенности базальтов является то, что основные энергозатраты по их подготовке к производству волокон выполнены самой природой. Проведенные многочисленные исследования показали, что в качестве сырья для получения различных видов базальтовых волокон могут использоваться горные породы следующего состава (в процентном соотношении): 45-55% SiO_2 ; 10-20% Al_2O_3 и до 20% $\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$ и MgO .

Кроме основных оксидов, базальты содержат, главным образом в виде минеральных соединений, практически все элементы таблицы Менделеева.

Химический состав минерального расплава определяет его основные свойства как при получении (плавлении), так и при эксплуатации готовой продукции. Установлено, что:

SiO_2 – повышает химическую стойкость волокна, но при этом приводит к повышению температуры плавления и вязкости расплава;

Al_2O_3 – повышает кислотостойкость, увеличивает вязкость и поверхностное натяжение (приводит к образованию корольков);

CaO и MgO – снижают вязкость, но дают склонность расплава к кристаллизации;

Fe_2O_3 – снижает вязкость, повышает поверхностное натяжение расплава;

Na_2O – снижает температуру плавления.

Ряд горных пород и отходов промышленности, используемых для производства минеральной ваты, нуждаются в присадках. В качестве присадок могут использоваться минеральные промышленные отходы (металлургические и топливные шлаки, золы, бой керамического и силикатного кирпича).

Выбор сырья для получения волокон должен осуществляться с учетом влияния его минерального и химического составов на физико-химические свойства расплава, а также условий протекания процессов плавления и волокнообразования.

Правильный выбор сырья – один из главных факторов, обуславливающих технико-экономические показатели минеральной ваты и изделий из нее. Одним из основных показателей сырья, используемого для изготовления ваты, является его химический состав.

Необходимый химический состав шихты достигается как правило путем применения 2-х и более компонентов.

Для производства ваты пригодны расплавы с содержанием кремнезёма 36 - 55%, глинозёма 1,6 – 10%, (кремнезём + глинозём) 41,4 – 61,9%, а иногда до 67%. При этом сумма кремнезёма и глинозёма в доменных шлаках, используемых для изготовления ваты, должна быть не менее 53%, в ваграночных и никелевых шлаках не менее 58%.

При плавке шихты в ваннах или электрических печах для производства минеральной ваты применяют расплавы, содержащие 29-56% кремнезёма, 9-29% глинозёма, (кремнезём + глинозём) – 40-74%.

Для удовлетворения требований ГОСТ 4640-2011 по модулю кислотности ($M_k \geq 1,4 - 2,0$) при изготовлении ваты необходимо добавлять к исходному сырью раскисляющие присадки.

В качестве присадок при использовании сырья с повышенной кислотностью применяют карбонатные породы (доломит, доломитизированный известняк и др.), при пониженной кислотности – бой керамики, силикатного кирпича или кислые горные породы.

Обобщение имеющихся в литературе сведений о влиянии химического состава и M_k сырья на свойства минеральной ваты не может дать желаемого результата из-за несопоставимости данных: минеральная вата производится различными способами при отличающихся друг от друга параметрах процесса; условия испытания минеральной ваты также, как правило, различны. Значительное влияние на качество получаемой ваты оказывает химическая и термическая неоднородность расплава, которая зависит от характера подготовки и качества сырья, типа печи и режима работы, а также от метода введения корректирующих присадок, их химического состава, крупности зёрен и количества. Также необходимо учитывать влияние присадок на кристаллизационную способность расплава и повышение вязкости, так как с увеличением склонности расплавов к кристаллизации снижается температуроустойчивость ваты, а повышение вязкости расплава приводит к увеличению диаметра волокон ваты и количество не волокнистых включений.

При выборе химического состава сырья для производства минеральной ваты необходимо прежде всего учитывать назначение и условия эксплуатации, а также тип плавильного агрегата, используемого для получения расплава и способ производства ваты.

Влияние химического состава расплава на выбор плавильного агрегата и способа производства ваты обуславливается тугоплавкостью и вязкостью расплава в момент переработки.

При изготовлении ваты центробежно-валковым и центробежно-дутьевым способами, вязкозиметрическая кривая расплава должна укладываться в область, приведенную на графике рис. 2.1.

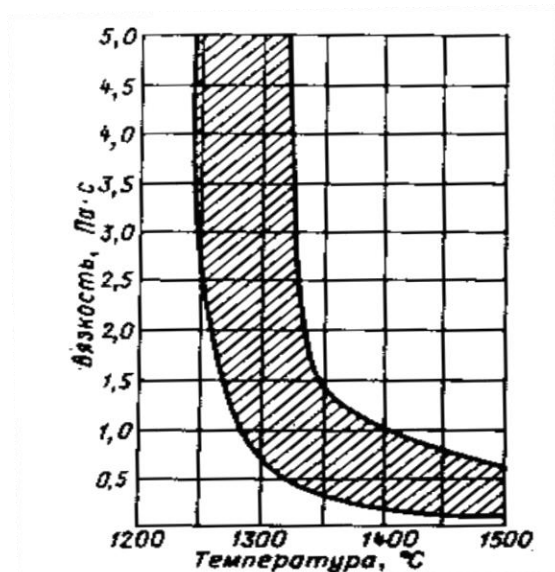


Рисунок 2.1 – Рекомендуемая область вязкости расплавов, используемых для изготовления минеральной ваты

К сырью для производства минеральной ваты предъявляются требования и по гранулометрическому составу. Так, при плавке сырья в вагранке куски тугоплавкого компонента шихты должны быть равны 20-40 или 40-60 мм, легкоплавкого компонента 40-60 или 40-80 мм. При плавке сырья в ваннах печах крупность зерен шихты не должна превышать 1-3 мм.

Большое влияние на качество минеральной ваты оказывает химическая и термическая однородность расплава. Для получения высококачественной ваты необходимо использовать гомогенный расплав с заданной температурой. Изменение химического состава и температуры расплава, подаваемого на переработку в волокно, приводит к нарушению процесса волокнообразования, резкому снижению качества и долговечности минеральной ваты.

2.2. Расчет состава шихты для получения силикатного расплава

Шихта должна обеспечивать необходимую вязкость расплава и требуемые характеристики волокна.

Качество волокна определяется:

1. *Модулем кислотности:*

$$M_k = \frac{SiO_2 + Al_2O_3}{CaO + MgO} \quad (2.1)$$

Параметры шихты для производства минеральной ваты определяет модуль кислотности M_k . Модуль кислотности влияет на вязкость расплава, расход энергии, производительность процесса плавки, диаметр волокон. Снижение M_k ведет к снижению расхода энергии, повышению производительности, снижению вязкости, что приводит к уменьшению диаметра волокон и увеличению их длины. Однако при снижении M_k снижается химическая стойкость, водостойкость и долговечность минеральных изделий. тугоплавкость и вязкость расплава

С увеличением модуля кислотности увеличивается водостойкость и химическая стойкость волокна, а, следовательно, и его долговечность.

Однако увеличение количества кислых оксидов приводит к росту вязкости расплава, что приводит к снижению производительности печи и ухудшению условий волокнообразования.

Поэтому, определяют некоторый оптимум. Для этого кроме модуля кислотности рассчитывают еще модуль вязкости.

2. *Модуль вязкости:*

$$M_v = \frac{M_{SiO_2} + 2M_{Al_2O_3}}{2M_{Fe_2O_3} + M_{CaO} + M_{MgO} + M_{MnO} + 2M_{Na_2O}} \quad (2.2)$$

где $M_{RmOn} = RmOn / \mu$ - молекулярное количество окисла ($RmOn$ - количество данного окисла в % по массе; μ - молекулярная масса этого окисла).

3. *Показатель водостойкости P_v* отвечающий значению pH раствора, полученного при растворении минеральной (каменной) ваты в разбавленном растворе HCl.

Для получения минеральной ваты класса А необходимо, чтобы: $M_k > 1,6$; $M_v \leq 1,4$ (для ванной печи), $M_v \leq 1,2$ (для вагранки); $P_v < 5$.

При плавлении шихты в вагранках верхний предел модуля вязкости – 1,2, для ванн печей – 1,4.

Для расчета состава каменной ваты на основе двухкомпонентной шихты необходимо определить соотношение компонентов по M_k , а затем проверить подобранный состав по M_v .

Обозначив через X процентное содержание одного из видов сырья в шихте, а через Y процентное содержание другого вида сырья, составляют систему двух уравнений с двумя неизвестными (2.3):

$$\begin{cases} \frac{(SiO_2^1 + Al_2O_3^1)x + (SiO_2^2 + Al_2O_3^2)y}{(CaO^1 + MgO^1)x + (CaO^2 + MgO^2)y} = M_k, \\ x + y = 100, \end{cases} \quad (2.3)$$

где $SiO_2^1, Al_2O_3^1, CaO^1, MgO^1$ – химический состав компонента x , %; $SiO_2^2, Al_2O_3^2, CaO^2, MgO^2$ – химический состав компонента y , %.

Необходимо также учитывать, что расчет выполняется с учетом влажности сырья и потерь при прокаливании, т. е. на сухой прокаленный материал. После нахождения процентного содержания компонентов x и y составляется сводная таблица химического состава шихты и проводится проверочный расчет по M_k .

Далее рассчитывают M_v расплава по формуле 2.4:

$$M_v = \frac{\frac{SiO_2}{60,06} + \frac{2Al_2O_3}{100,94}}{\frac{2Fe_2O_3}{159,68} + \frac{CaO}{56,08} + \frac{MgO}{40,32} + \frac{2Na_2O}{61,99} + \frac{MnO}{70,94}} \quad (2.4)$$

Затем проверяют соответствие M_v выбранной технологии, определяют P_v и делают окончательный выбор способа производства минерального волокна.

Для расчета шихты, состоящей из трех и более компонентов, составляют систему уравнений аналогично подбору шихты для получения стекловолокна.

2.3. Получение силикатного расплава

Минеральную вату получают из силикатных расплавов. В шихте в процессе получения расплава (в зависимости от составляющих шихту сырьевых компонентов) при нагреве происходят следующие процессы [8]:

- сушка с испарением адсорбционной влаги (физический процесс);
- дегидратация с потерей кристаллизационной и конституционной влаги (химическая реакция в сочетании с физическими изменениями – испарением);
- аморфизация глинистых пород (физико-химический процесс);
- разложение молекул доломита и диссоциация карбонатов кальция и магния (химический процесс);
- разложение сульфатов (химический процесс);
- восстановление и окисление железистых, марганцовистых и других оксидов в зависимости от характера атмосферы в печи (физико-химический процесс);
- образование новых по сравнению с первичными соединениями в результате реакции в твердой фазе или воздействия жидкой фазы на твердую (химический процесс), а также полиморфного перехода из одной модификации в другую (физический процесс);
- плавление в случае применения однокомпонентной шихты (физический процесс) или плавление легкоплавких кусков с растворением в полученном расплаве тугоплавких кусков (физикохимический процесс);

- гомогенизация полученного расплава с частичным осветлением (физический процесс).

Производство ваты состоит из двух неразрывно следующих процессов: расплавления в соответствующих плавильных агрегатах шихтовых материалов до образования расплава требуемой температуры и химического состава и немедленной переработки его в вату. В момент волокнообразования распыляют связующее вещество (синтетические полимеры, битум и др.) либо пропитывают растворами связующего волокнистый ковёр с последующей термической обработкой в специальных конвейерных сушилках.

Получаемый в плавильных агрегатах расплав должен иметь необходимые физические свойства: текучесть, динамическую вязкость и поверхностное натяжение, значения которых соответствуют технологическим особенностям процесса плавления шихты и выбранному методу переработки расплава в вату, что будет способствовать изготовлению ваты с заданной средней плотностью и упругостью, зависящих от диаметра, длины и эластичности составляющих вату волокон, долговечность и стойкость к воде, к щелочам, кислотам, продуктам гидратации цемента и воздействию высоких температур.

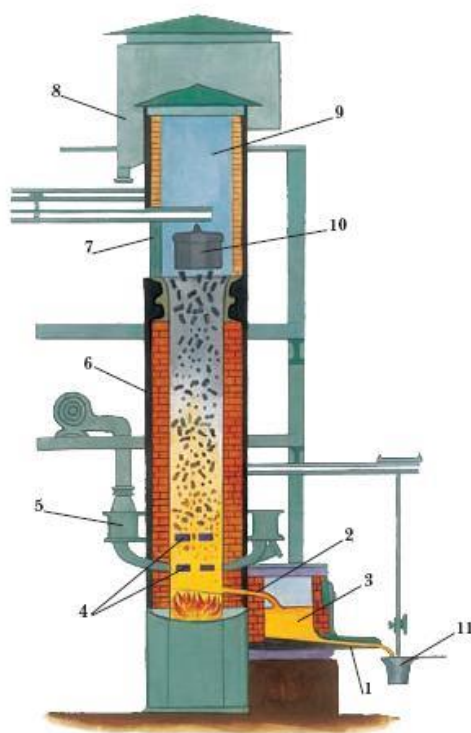
Температурные показатели для печей разных типов:

Вагранки..... $T_{пл}$ 1400 - 1500 °С

Ванные печи..... $T_{пл}$ 1400 - 1600 °С

Электродуговые печи..... $T_{пл}$ до 2000 °С

Наиболее распространенными плавильными установками в производстве минеральной ваты являются вагранки с водяной и испарительной системами охлаждения (рис. 2.2).



- 1 – жёлоб для выпуска расплава;
- 2 – летка;
- 3 – копильник;
- 4 – фурмы для дутья;
- 5 – воздушный коллектор;
- 6 – шахта, футерованная огнеупорным кирпичом;
- 7 – загрузочное окно;
- 8 – искроуловитель;
- 9 – труба;
- 10 – загрузочная бадья;
- 11 – ковш.

Рисунок 2.2 – Вагранка для получения минерального расплава

В шахте вагранки при установившемся режиме различают четыре технологические зоны: I – сушка; II – дегидратация и декарбонизация; III – плавление; IV – гомогенизация расплава. Зона плавления находится над фурмами, здесь сгорает топливо, повышая температуру до 1600 °С. Образовавшийся расплав по раскаленному коксу стекает в горн, а продукты горения поднимаются вверх в зону декарбонизации, где нагревают материал до 800 - 900 °С. Глинистые компоненты сырья дегидратируются и распадаются на первичные оксиды, а карбонатные разлагаются с выделением CO₂. Далее газы проходят зону сушки, где подсушивают и прогревают до 100 - 120 °С сырьевую смесь. В начале подготовки к плавлению загружается топливо, так называемая холостая «калоша», далее сырье загружается порциями (сырье - топливо, сырье - топливо и т.д.). Технологические особенности процесса плавления шихты в вагранке заключаются в том, что шихтовый столб, включая сырьевые и коксовые «калоши», имеет достаточную газопроницаемость и обеспечивает быстрый нагрев шихты и получение расплава необходимой вязкости: расплав должен течь как в холодной «калоше», так и из летки печи.

Расплавы, вытекающие из летки вагранки, характеризуются вязкостью 0,2 – 1,5 Па·с. При подборе состава шихты вязкость принимают равной 1 Па·с при 1400 °С.

Образующиеся в вагранке силикатные расплавы имеют температуру верхнего предела кристаллизации 1300 °С и менее (до 1150 °С), а температуру жидко плавкого состояния – 1270 – 1350 °С.

Площадь, занимаемая вагранкой, минимальна. Недостатки печи – дорогостоящее топливо, тяжелые условия работы, грязное производство.

Ванная печь представляет собой бассейн, дно которого выложено огнеупорными шамотными брусками. Конструкция печи позволяет использовать более мягкое сырье с размером частиц 2...5 мм, в том числе глинистые породы. Конструкция ванной печи представлена на рис. 2.3. В ваннных печах плавят как брикетированную, так и порошкообразную шихту.

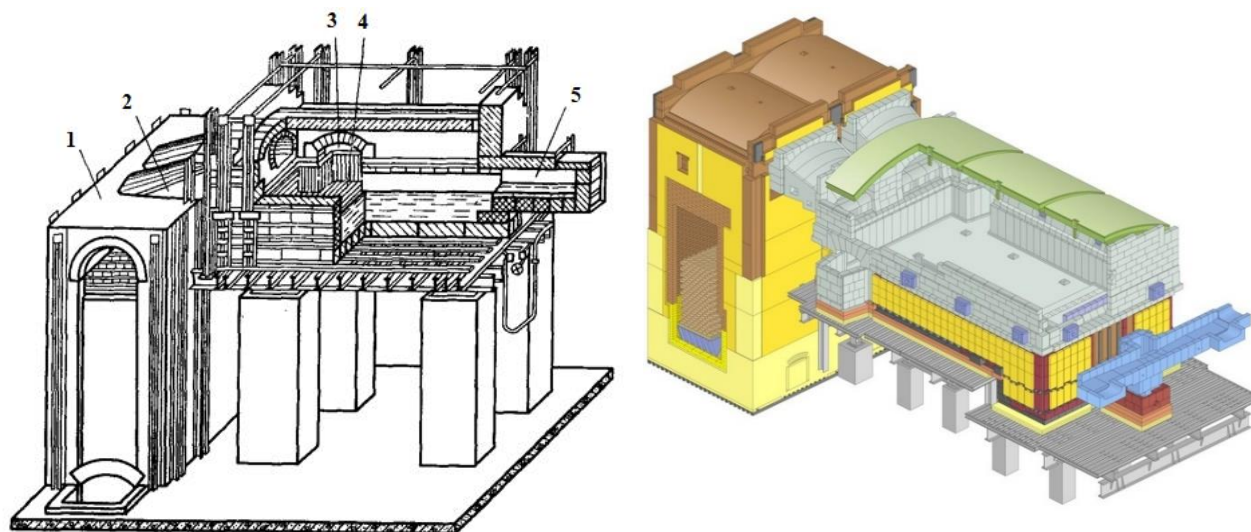


Рисунок 2.3 – Ванная печь

1 – регенераторы; 2 – горелка; 3 – загрузочное окно; 4 – бассейн; 5 – фидер

Расплавленная смесь плохо проводит теплоту, поверхностный слой нагревается, образуя расплав, под которым находится спекшийся слой шихты. Расплав медленно стекает, открывая спекшийся слой, который постепенно плавится. Расплав в ванной печи движется непрерывно за счет загрузки сырья и постоянного отбора расплава, его разности в плотностях и температуре. В отличие от вагранок из ваннных печей расплав вытекает при рабочей вязкости 2,5 Па·с. Рабочая площадь, так называемое зеркало, занимает 48,6 м².

Ванная печь применяется для получения не только минеральных, но и стеклянных расплавов. Глубина ванны для получения минеральных расплавов – 400 мм, стеклянных – от 800 мм, поскольку минеральные расплавы менее светопрозрачны.

Кроме того, они могут выполнять роль шлакоприемников для усреднения расплавленных огненно-жидких шлаков, где первичные расплавы обогащаются двуокисью кремния и окисью алюминия. Минеральный расплав, полученный в ваннных печах, имеет температуру верхнего предела кристаллизации от 1075 (для щелочесодержащего стеклянного волокна) до 1400 °С (для бесщелочной минеральной ваты).

Стабилизация процесса плавления в вагранке влияет на качество минеральной ваты: диаметр волокна, среднюю плотность, прочность, упругость и др.

В шахтно-ваннных печах плавят кусковую шихту (рис. 2.4). Для изготовления расплавов в ряде случаев используют электрические печи. Например, в электродуговых печах вырабатывают расплавы с широким диапазоном содержания различных химических компонентов и высокой температурой верхнего предела кристаллизации (выше 1700 °С), что важно для производства высокотемпературостойкой ваты. Такая вата содержит, % по массе: SiO₂+Al₂O₃ – 95-98, SiO₂ – 45-55, Al₂O₃ – 45-55 (термофлекс, каолиновое волокно и др.). Температура ее применения свыше 1100 °С.

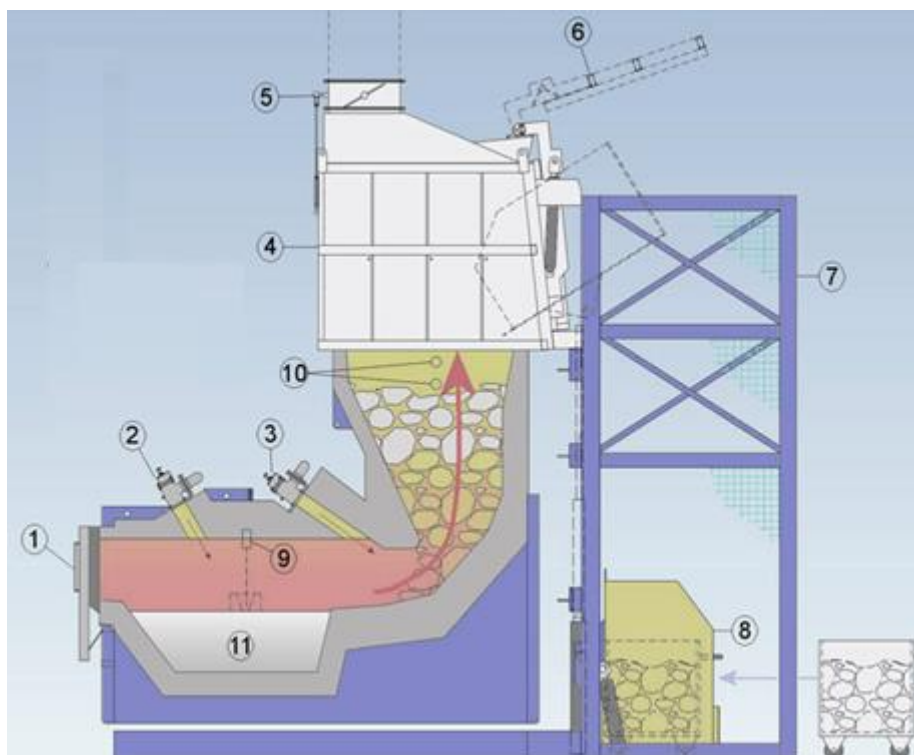


Рисунок 2.4 – Схема поворотной шахтно-ванной печи с вертикальной форкамерой:

- 1 – окно для обслуживания печи; 2 – горелки в зоне выдержки; 3 – горелки в зоне плавки; 4 – кожух; 5 – автоматическая заслонка; 6 – загрузочное окно;
7 – загрузочная башня; 8 – загрузчик; 9 – считывание уровня расплава;
10 – считывание уровня в вертикальной камере; 11 – разливочный носок.

Большое значение имеет выбор типа плавильного агрегата, режима плавки и вида сырья, при которых получалось бы наибольшее количество расплава при затрате 1 кг условного топлива. По опытным данным в вагранках получают от 3,3 до 6,0, в ваннных печах – от 3,15 до 3,6, в электродуговой печи – до 12,7 и в газовом плавильном агрегате – от 2,29 до 2,84 кг расплава при затрате 1 кг условного топлива. Следовательно, наиболее выгодными по тепловым показателям являются электрические дуговые печи, коксогазовые и коксовые вагранки, причем последние должны работать на горячем (500 °С) дутье и иметь многоконтурную систему автоматического управления плавлением. Производительность коксовых вагранок – 2,0 - 2,5 т/ч по расплаву, ваннных печей минераловатного производства – 1,6 - 2,5 т/ч, электропечей – до 5 т/ч, ваннных печей производства стекловолна – 0,8 - 1,5 т/ч, печей базальтового производства – от 200 кг/сут до 200 кг/ч.

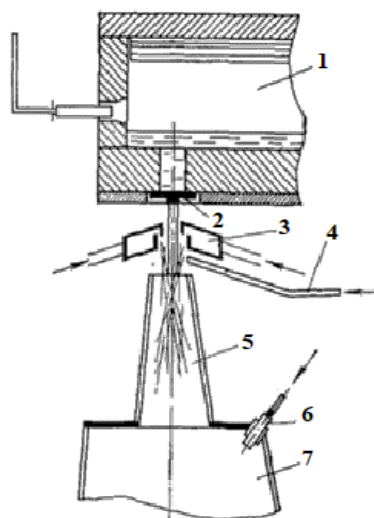
2.4. Способы переработки расплава в волокно

После плавления в печи любого типа минеральный расплав в виде тонкой струи поступает на дальнейшую переработку для получения волокна. На процесс получения волокон, кроме химического состава расплава, определяющего вязкость и поверхностное натяжение при температурах переработки его в вату и склонность к кристаллизации, важную роль играет способ переработки, который

значительно влияет на длину и диаметр волокон и содержание неволокнистых включений в вате.

В настоящее время способы переработки силикатного расплава на вату подразделяют на:

1) *Дутьевой способ.* Сущность заключается в том, что на струю жидкого расплава, вытекающего из плавильного агрегата, воздействует струя энергоносителя, движущегося с большой скоростью (400-800 м/с). Она расщепляет струю расплава и вытягивает образовавшиеся элементы в волокно (рис. 2.5). В качестве энергоносителя могут выступать: горячий воздух, пар или продукты сгорания топлива. По направлению струи различают вертикальный и горизонтальный способ.



- 1 – фидер;
- 2 – фильерный питатель;
- 3 – дутьевое устройство;
- 4 – устройство для подачи обеспыливающего вещества;
- 5 – диффузор;
- 6 – форсунка для подачи связующего вещества;
- 7 – шахта кемеры волокноосождения.

Рисунок 2.5 – Узел раздува при фильерном способе получения волокна

1.1) *При горизонтальном способе* струя пара, воздуха или газовоздушной смеси со скоростью 450-800 м/с под углом 15-20° воздействует на струю расплава и разделяет ее на мельчайшие частицы, капли и струйки, которые в полете, частично растягиваясь и разрываясь, образуют волокна, а частично в результате действия сил поверхностного натяжения превращаются в неволокнистые включения. Волокна минеральной ваты имеют диаметр 5-7 мкм, длину 6-10 мм. Вата содержит 64-73 % неволокнистых включений всех размеров.

1.2) *При вертикальном способе* струя энергоносителя направлена сверху вниз под углом 10-12° к вертикали с двух сторон на струю расплава. При этом расплав подается на раздув через пластину с отверстиями (фильерами), диаметром не более 3 мм, поэтому способ называется фильерно-дутьевой (рис. 2.6). При этом способе получают волокна высокого качества.

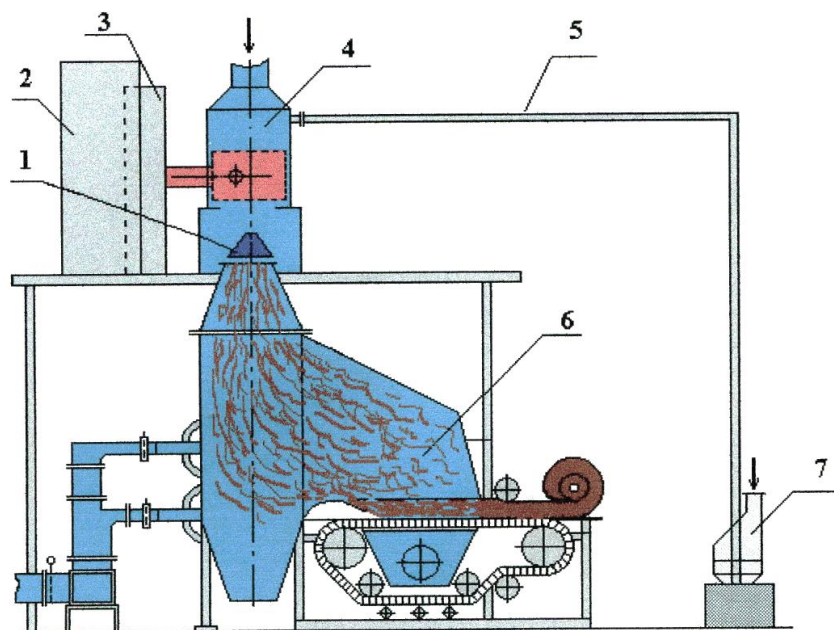


Рисунок 2.6 – Аппаратурно-технологическая схема производства минеральной ваты: 1 – дутьевое устройство; 2 – высокочастотный генератор; 3 – блок нагрузочного контура; 4 – индукционная печь; 5 – шихтопровод; 6 – камера волокноосаждения; 7 – дозатор.

По принципу действия дутьевые головки можно разделить на два типа: ударного действия и инжекторные.

Ударного действия - струя энергоносителя действует на струю расплава на выходе из дутьевой головки.

Инжекторные дутьевые головки действуют по принципу всасывания струи расплава и расщепления внутри головки. Вакуум внутри головки образуется за счет высокой скорости движения энергоносителя. Такие сопла позволяют получать вату высокого качества, но они малопроизводительные и создают высокий уровень шума.

2) *Центробежный способ.* Способ основан на использовании центробежной силы вращающихся элементов, на которые подается расплав. Центробежные установки могут быть одноступенчатыми и многоступенчатыми. В одноступенчатой установке расплав обрабатывается на одной центрифуге, в многоступенчатой – последовательно в нескольких. По форме рабочего органа центрифуги могут быть: дисковыми и валковыми, по расположению плоскости вращения – горизонтальными и вертикальными. В одноступенчатой установке расплав подается на диск изготовленный из жаропрочной стали или огнеупора. Диск вращается в горизонтальной плоскости со скоростью 4000 об/мин. Расплав, попадая на диск, распределяется по нему в виде пленки, за счет центробежной силы пленка перемещается к краю диска и, под действием поверхностного натяжения расщеленяется на струйки из которых образуются волокна. Способ имеет низкую производительность. Наибольшее распространение получили центрифуги со ступенчатым расположением валков (рис. 2.7).

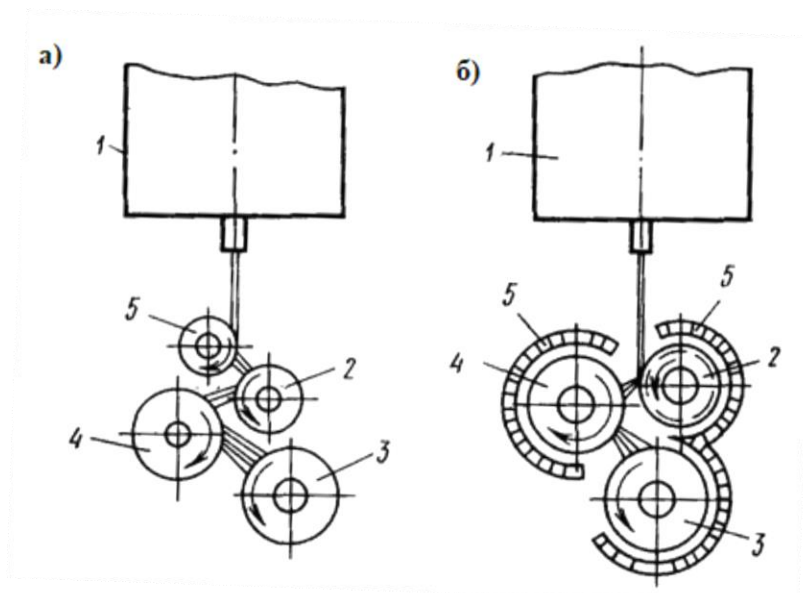
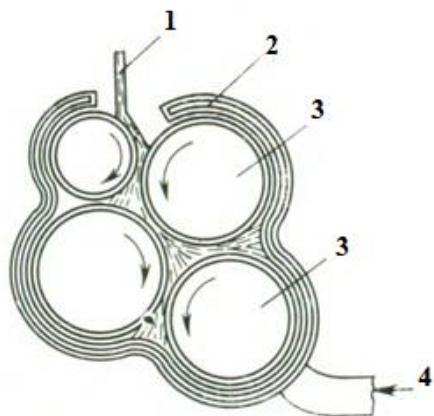


Рисунок 2.7 – Схема многовалковых центрифуг:
а) четырехвалковая центрифуга; б) трехвалковая центрифуга
1 – вагранка; 2 – 5 – вращающиеся валки

Центрифуга представляет собой станину П-образной формы на которой укреплены валки, приводимые во вращение отдельными электродвигателями. Расплав с температурой около 1400 °С стекает через лоток на верхний распределительный валок и последовательно обрабатывается всеми валками. При этом струя расплава должна попадать в строго определенную точку поверхности первого валка, находящуюся под углом 30-40° к горизонтальной поверхности, проходящей через ось валка. Скорость вращения валков увеличивается от верхнего к нижнему, также увеличивается диаметр валков. Волокно образуется только при прилипанию расплава к поверхности валков. Если этого не происходит, то струя расплава отбрасывается и волокно не образуется. Прилипание расплава начинается с температуры 500-600 °С и усиливается при увеличении температуры. Нормальная работа центрифуг обеспечивается при температуре 1360-1380 °С, а по мере продвижения расплава он остывает и его вязкость увеличивается, поэтому валки подогреваются.

3) Комбинированные способы – центробежно-дутьевой, центробежно-фильерно-дутьевой.

3.1) Центробежно-дутьевой способ основан на превращении струи расплава в пленку и струйки центробежной силой вращающейся чаши и последующем вытягивании в волокно при помощи энергоносителя. Расплав из вагранки по лотку стекает на внутреннюю часть боковой стенки чаши центрифуги. При вращении чаши расплав распределяется по ее периметру и срывается с кромок чаши в виде пленок, струек и капель. Последние подхватываются потоком энергоносителя и расщепляются на более тонкие волокна (рис. 2.8, 2.9).



- 1 – струя расплава;
2 – оконтуривающая дутьевая головка;
3 – водоохлаждаемые валки;
4 – пар или сжатый воздух

Рисунок 2.8 – Схема переработки расплава на вату центробежно-валковым способом с оконтуривающей дутьевой головкой

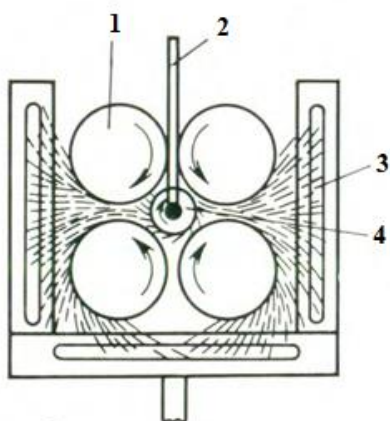


Рисунок 2.9 – Схема переработки расплава на вату центробежно-валковым способом с центральной раздаточной чашей

3.2) *Центробежно-фильерно-дутьевой* отличается тем, что вращающаяся чаша имеет отверстия – фильеры и расплав расщепляется на более тонкие струйки. Далее они также расщепляются потоком энергоносителя на более тонкие. Чаши могут иметь до 2000 фильер. Этот способ позволяет получать ультратонкое волокно, диаметром всего 1-2 мкм. Обычно применяется для получения стеклянного волокна.

От способа получения минеральной ваты зависят ее качественные показатели (табл. 2.1).

Таблица 2.1 – Основные свойства минеральной ваты

Показатель	Способ волокнообразования			
	центробежно-дутьевой	центробежно-валковый	вертикально-фильно-дутьевой	дутьевой горизонтальный
Средняя плотность, кг/м ³	98	87	72	115
Содержание «корольков» размером более 0,25 мм, %	19	12,9	2,2	15,3
Теплопроводность, Вт/(м·К) при температуре, °С: 25 100	0,044 0,057	0,043 0,056	0,035 0,063	0,043 –
Средний диаметр волокна, мкм	8	6,5	7,8	6,2
Модуль кислотности	1,27	1,27	1,68	1,21
Влажность, % по массе	0,7	0,5	1,0	0,7
Потери расплава при волокнообразовании, % по массе	23	27	нет	19,7

2.5. Формирование ковра

Для формирования из отдельных волокон готового ковра после узла волокнообразования устанавливают камеру волокноосаждения. Камера волокноосаждения – это конвейер, оборудованный всасывающим вентилятором, закрытый металлическим кожухом. Камера работает под небольшим разрежением, чтобы волокна не попадали из камеры в цех. Этот осадительный конвейер может быть коротким или длинным, соответственно камера имеет вертикальную или горизонтальную конфигурацию.

Конфигурация камеры зависит также от способа волокнообразования. При получении волокон на вертикально-дутьевой, фильерно-дутьевой, центробежно-фильерно-дутьевой установках применяют камеру вертикального типа, при применении центробежных способов – горизонтального. Линейная скорость движения конвейера составляет от 0,5 до 3,5 м/мин; изменяя скорость, можно регулировать толщину минераловатного ковра. Общая длина камеры волокноосаждения может составлять 9 - 15 м.

2.6. Связующие вещества для получения минераловатных изделий

Изделия на основе минеральной ваты получают путем закрепления волокнистого ковра сшивкой или склеиванием растворами связующих. Основные виды структур минераловатных изделий приведены на рис. 2.10.

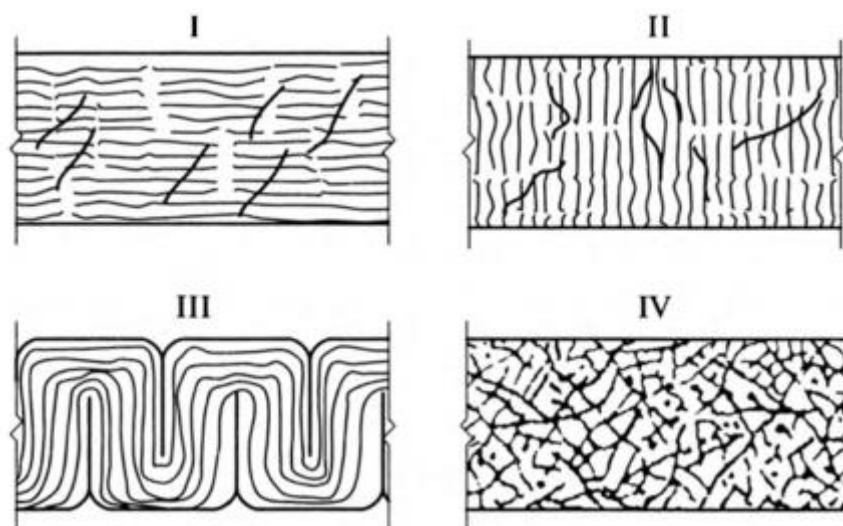


Рисунок 2.10 – Основные виды структур минераловатных плит:

*I – горизонтальная ориентация волокон; II – вертикальная ориентация волокон;
III – гофрированная структура; IV – пространственная ориентация волокон*

Важным элементом как новых, так и известных волокнистых утеплителей является применение качественных, экологически безопасных связующих.

В мягких и полужестких изделиях затвердевшее связующее скрепляет волокна преимущественно в местах их взаимного соприкосновения, в результате изделия обладают упругостью, в зависимости от упругости самих волокон.

В жестких, повышенной жесткости и твердых изделиях связующее не только скрепляет волокна между собой в зонах контакта, но и присутствует в пустотах между волокнами.

На сегодняшний день известны следующие виды связующих [2]:

- фенолформальдегидные водорастворимые смолы, феноло-спирты;
- карбамидные смолы;
- расплавленный битум, который в виде капелек распыляют на волокна;
- крахмальное связующее (бесцветное), применяемое для акустических плит;
- алюмохромфосфатное (минеральные соли сложного состава, кристаллизующиеся при твердении, связывая отдельные волокна);
- бентонитовые глины;
- кремнийорганические связующие (силаны).

Минераловатные изделия, получаемые с использованием битумного связующего, модифицированных смол, нельзя отнести к современным.

К связующим предъявляются такие требования, как неизменность структуры, стабильность параметров, водостойкость на весь срок эксплуатации. При выборе связующего учитывают его адгезионные и когезионные свойства, не токсичность и стоимость.

Наиболее эффективны синтетические смолы:

Фенолоспирты – водорастворимые фенолформальдегидные смолы. Недостатки – хрупкость отвержденной пленки, токсичность, недолговечность. Для уменьшения хрупкости пленки могут вводиться пластификаторы.

Карбамидные смолы – продукты взаимодействия мочевины с альдегидом. Недостаток – отсутствие стабильности, обусловленное выделением воды из непрореагировавшего формальдегида, придающих смоле гидрофильность и приводящие к растрескиванию отвердевшей смолы. Карбамидные смолы дешевле фенолоспиртов, минеральная вата с таким связующим имеет хорошие механические свойства и низкую теплопроводность, но водостойкость ее ниже чем у минеральной ваты на фенолоспиртах.

2.7. Способы нанесения связующего на волокно

На качество минераловатных изделий существенное влияние оказывает способ введения связующего в волокнистую массу. При изготовлении изделий применяют следующие способы нанесения связующих: пульверизация, пролив с последующим отжимом и вакуумированием, приготовление гидромасс (мокрый способ).

По первому способу раствор или эмульсию связующего наносят распылением либо форсунками в камере волокноосаждения, либо через паровой коллектор центробежно-дутьевой установки или полый вал валков центрифуги. Более равномерное распределение связующего достигается при подаче его через паровой коллектор или полый вал валков центрифуги. Связующее, введенное в ковер методом пульверизации, находится в ковре в виде отдельных мелких капель. Скрепление волокон достигается только за счет капель, удерживающихся в местах «скречивания» волокон. Чем мельче капли, тем равномернее они будут распределены по объему ковра, тем лучшим будет сцепление волокон. Недостаток этого способа – большие потери связующего. Применение пульверизации технологически и экономически оправдано при изготовлении рулонного материала, а также мягких и полужестких плит с низкой средней плотностью, изделий с вертикальной и гофрированной структурой.

Сущность второго способа заключается в том, что связующее в виде плоской струи по наклонному листу подается на минераловатный ковер по всей ширине конвейера. В месте подачи связующего под конвейером имеется вакуумирующее устройство, способствующее прониканию связующего в толщу ковра (рис. 2.11). Излишки связующего отжимаются валом и поступают в бассейн, из которого перекачиваются насосом в расходный бак.

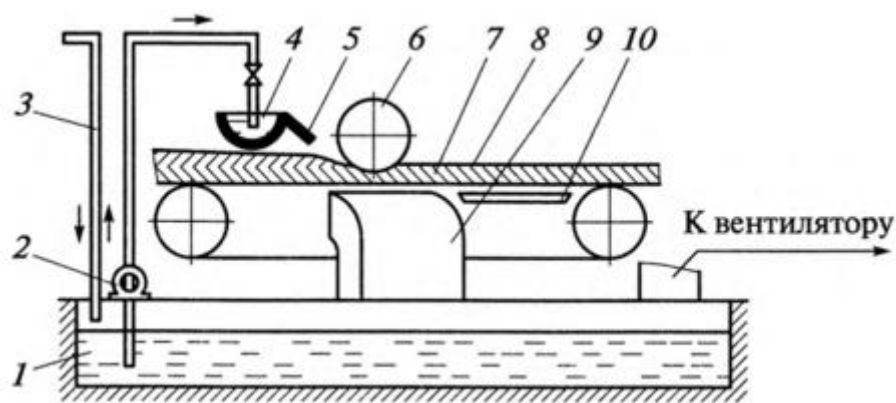


Рисунок 2.11 – Схема введения связующего методом пролива с вакуумированием: 1 – емкость со связующим; 2 – насос; 3 – трубопровод для подачи связующего; 4 – поливочная ванна; 5 – желоб; 6 – отжимной валок; 7 – сетчатый конвейер; 8 – минераловатный ковер; 9 – отсос; 10 – система сбора связующего

При введении связующего в минераловатный ковер способом пролива с отжимом и вакуумированием не только снижаются потери связующего, но и значительно повышается прочность изделий (в 2-3 раза) за счет более эффективного распределения связующего по каркасу изделия. Недостаток способа – повышенная влажность ковра (70 – 80% по массе), а также невозможность получения низкой объемной массы. Такой способ введения связующего целесообразен при получении жестких и твердых минераловатных плит.

При изготовлении плит повышенной жесткости применяют мокрый способ введения связующего. Минераловатный ковер рвется на кусочки в специальном трепальном устройстве, затем минеральные волокна смешиваются с раствором связующего в специальном смесителе (рис. 2.12). Приготовленная гидромасса, содержащая 5... 10% волокон, подается на конвейер, где происходит отсос излишней влаги, вакуумирование, подпрессовка. Способ гидромасс позволяет получить изделия с изотропной пространственной структурой, т.е. во всех направлениях свойства изделий одинаковы.

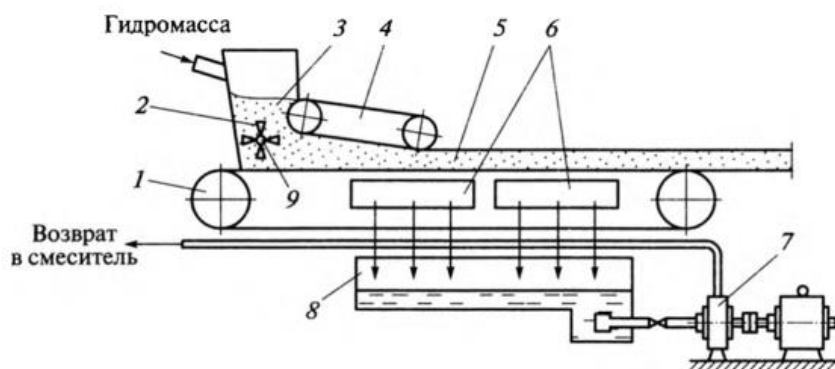


Рисунок 2.12 – Получение минераловатного ковra из гидромассы: 1 – нижний подающий конвейер; 2 – смеситель; 3 – бункер; 4 – верхний подпрессовывающий конвейер; 5 – ковер из гидромассы; 6 – участок вакуумирования; 7 – насосная система; 8 – емкость для сбора раствора связующего; 9 – гидромасса

Из-за особенностей технологии производства в толще плит утеплителя возникают дефекты. Если расплавленное сырье не вытянулось в нити, оно остывает и превращается в твердые черные или темно-коричневые частицы с нитеобразными отростками, которые называют «корольки». Связующие же компоненты в некоторых местах образуют характерные твердые сгустки рыжего и коричневого цвета, на ощупь похожие на пластилин. Производственные стандарты ограничивают количество дефектов в утеплителе. Плиты обрабатываются для уменьшения числа корольков, осматриваются визуально, однако дефекты, находящиеся в толще плиты, выявить невозможно.

2.8. Тепловая обработка плит

Обычно при производстве минераловатных плит в качестве основного связующего применяют водорастворимые фенолформальдегидные смолы. Содержание воды — до 97 %. Поэтому тепловая обработка в производстве минераловатных изделий включает в себя два процесса: сушка, для осуществления которой достаточно 105 °С, и отверждение связующего. Для отверждения синтетического связующего необходима температура 180-250 °С, тогда смола полимеризуется, переходит в неплавкое (сшитое) состояние. Время тепловой обработки минераловатных изделий от 8 до 30 мин, в зависимости от вида плит и содержания связующего. На отечественных заводах, построенных по старым проектам, время тепловой обработки регулируется длиной камеры, которая может составлять от 10 до 30 м.

Исследования последних лет позволяют утверждать, что значительная часть технологических переделов минераловатного производства имеет опробованные в отечественной промышленности решения современного уровня. Необходимо внедрять в промышленность современные камеры тепловой обработки (полимеризации), способные на одной быстро переналаживаемой линии обеспечить поточное производство плит различной плотности (до 250 кг/м³) и различной толщины (от 40 до 250 мм). Именно такие камеры тепловой обработки обеспечили передовым фирмам мира прогресс в производстве минераловатных утеплителей.

Новое направление в создании отечественного оборудования – универсальность линии по производству минераловатных плит, т.е. одинаковая длина для всех видов изделий. Время тепловой обработки можно регулировать, изменяя скорость конвейера. Температура в камере полимеризации 200 - 300 °С обеспечивает полное отверждение связующего.

Камеры тепловой обработки состоят из нескольких секций:

- нагрева;
- испарения влаги (100 - 105 °С);
- термических реакций (180 - 250 °С);
- выдержки (полимеризации связующего);
- охлаждения.

Далее происходит охлаждение изделий на конвейере вне камеры. Охлаждение минераловатного ковра происходит в обжатом состоянии. Далее по

ходу конвейера устанавливаются ножи продольной и поперечной резки и упаковочный конвейер, где минераловатные плиты упаковываются в термоусадочную пленку.

Сохранить при перевозке и хранении эксплуатационные характеристики утеплителей можно, используя прием упаковки изделий в различные, в том числе термоусадочные пленки. Изделия в такой упаковке хорошо хранятся и транспортируются, но также они, могут быть уложены на объектах.

2.9. Снижение водопоглощения и повышение водостойкости минераловатных изделий

Качество минераловатных изделий определяется не только их физико-механическими показателями в момент изготовления, но и стабильностью свойств во времени.

В период хранения, транспортировки, монтажа и эксплуатации на теплоизоляционные изделия воздействуют факторы, влияющие на снижение физико-механических характеристик и долговечность. В основном это перепады влажностного режима и прямой контакт с водой.

Влагостойкость минераловатных изделий оценивают отношением прочности изделий, выдержанных в камере с относительной влажностью воздуха 98 ± 2 % в течение 3 суток, к первоначальной прочности.

На величину влагостойкости изделий значительное влияние оказывает адсорбционная влага, т.е. влага, находящаяся в физико-химической связи с материалом. Отрицательное воздействие влаги на прочность материала (по П.А. Ребиндеру) проявляется через расклинивающее действие воды, адсорбируемой на его поверхности. Колебание температуры, особенно в случае перехода последней через 0°C , и связанное с этим изменение агрегатного состояния воды усугубляет разрушающие явления. В первую очередь разрушающее воздействие влаги проявляется в значительном падении прочности связующего, что приводит к снижению прочности минераловатных изделий.

Гигроскопическая влажность минераловатных изделий составляет 1-3 % по массе, однако снижение прочности изделий во влажных условиях происходит настолько интенсивно, что в короткий срок может привести к полной потере их прочности. И хотя после сушки изделий до нулевой влажности они почти полностью восстанавливают первоначальную прочность, влагостойкость является важным показателем свойств изделий, влияющим на область их применения. Отрицательное воздействие влажности особенно проявляется в случае недостаточной степени отверждения связующего в изделиях.

В связи с высокой пористостью водопоглощение минераловатных изделий на синтетическом связующем может достигать 400-500 % по массе и обуславливается в основном наличием свободной влаги в изделиях.

Для защиты изделий от избыточной влаги в процессе изготовления их гидрофобизируют. В качестве гидрофобизаторов используют: кремнийорганические жидкости (ГКЖ) и их эмульсии, битумные эмульсии,

различные масла и др. В технологии производства возможны два способа обработки минераловатных изделий: поверхностный и объемный.

При поверхностной гидрофобизации на готовые изделия методом пульверизации наносят гидрофобизаторы или наклеивают на поверхность изделий водонепроницаемые покрытия (пергамин, фольгоизол, алюминиевая фольга и т.д.). Поверхностная гидрофобизация минераловатных изделий более трудоемка и менее эффективна, чем объемная.

Объемная гидрофобизация заключается в равномерном введении гидрофобизаторов по всему объему изделий. При введении связующего методом пульверизации гидрофобизаторы вводят этим же способом и используют кремнийорганическую эмульсию КЭ-30-04, мазут, высокотемпературное масло или расплавленный битум.

Кремнийорганическую эмульсию распыляют в камере волокноосаждения одновременно с пульверизацией раствора связующего или вводят в раствор связующего до его распыления. При введении эмульсии 0,5-1,0% от массы ваты водопоглощение изделий снижается до 20-60 % (по массе).

Мазут, высокотемпературное масло или расплавленный битум наносят на волокно способом пульверизации в камере волокноосаждения одновременно с распылением раствора связующего. При введении гидрофобизатора в количестве 1,0-1,5 % от массы ваты водопоглощение изделий не превышает 30-50 % (рис. 2.13).

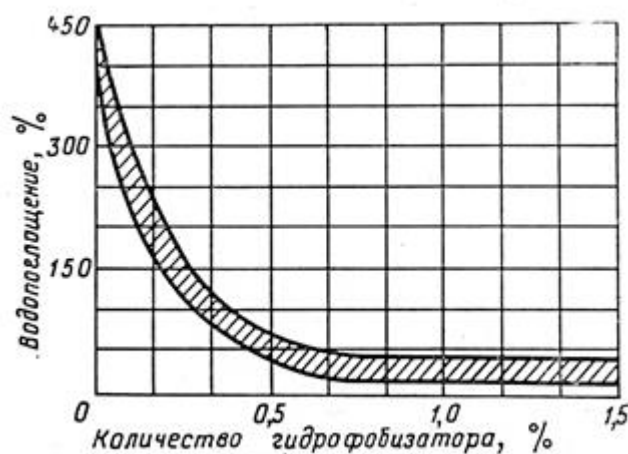


Рисунок 2.13 – Зависимость водопоглощения минераловатных плит от количества гидрофобизатора (битумной эмульсии)

При введении раствора связующего в минераловатный ковер методом пролива с последующим вакуумированием и при изготовлении изделий из гидромассы гидрофобизатор целесообразно вводить в раствор связующего или подавать непосредственно в смеситель для приготовления гидромассы. Возможна гидрофобизация изделий и путем нанесения гидрофобизатора на волокно в камере волокноосаждения.

При изготовлении изделий из гидромассы вместо кремнийорганических жидкостей целесообразно в качестве гидрофобизатора использовать водорастворимую битумную эмульсию, которую в размере 2 - 10 % от

количества синтетического связующего вводят непосредственно в смеситель. При этом достигается модификация связующего, что не только снижает водопоглощение изделий, но и повышает их водостойкость.

При нанесении гидрофобизатора на волокно, например, в камере волокноосаждения, и последующем изготовлении изделий из гидромассы, хотя и достигается снижение водопоглощения изделий, их водостойкость практически не повышается. Поэтому наиболее целесообразным является объемная гидрофобизация изделий путем введения гидрофобизатора в связующее. Это особенно важно при использовании карбамидных смол, водостойкость которых ниже, чем у фенолоспиртов.

На практике часто используют одновременно оба способа объемной гидрофобизации изделий, т.е. в камере волокноосаждения наносят на волокно, а затем используют раствор связующего, в который введена битумная эмульсия или эмульсия КЭ-30-04.

Гидрофобизация минераловатных изделий уменьшает их гигроскопичность и повышает водостойкость. При этом, если увеличение количества гидрофобизатора (свыше 1,5 % от массы ваты) практически не оказывает влияния на дальнейшее снижение водопоглощения изделий, то с увеличением количества гидрофобизатора в связующем гигроскопичность изделий уменьшается, а влагостойкость повышается (рис. 2.14).

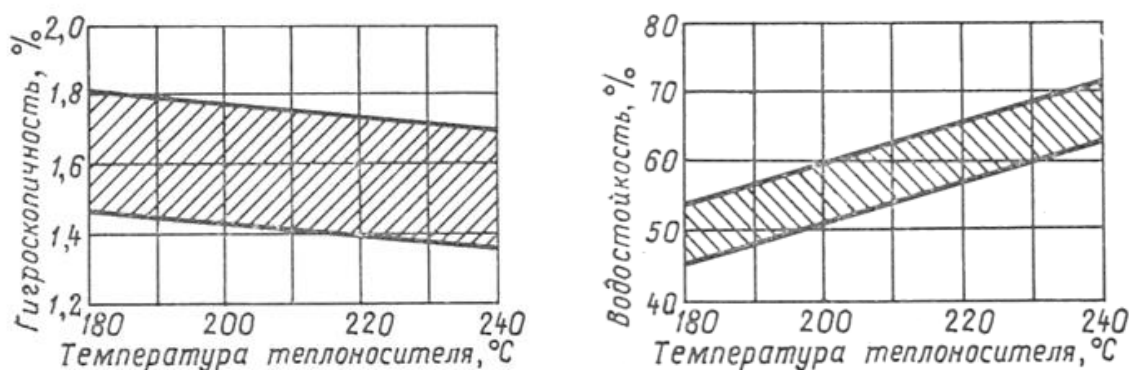


Рисунок 2.14 – Зависимость гигроскопичности и влагостойкости изделий на карбамидном связующем с гидрофобизацией битумной эмульсией от температуры теплоносителя

Известно, что карбамидные смолы менее водостойки, чем фенолоспирты. Введение в них битумной эмульсии повышает водостойкость карбамидных смол, которые используются для изготовления минераловатных плит повышенной жесткости. В этом случае смесь карбамидной смолы с битумной эмульсией можно рассматривать как комплексное связующее, позволяющее изготавливать водостойкие изделия.

Большое влияние на гидрофобные свойства минераловатных изделий оказывает режим тепловой обработки в процессе их изготовления. Повышение влагостойкости изделий с увеличением температуры тепловой обработки связано с более полным завершением реакции поликонденсации карбамидной смолы.

3. Изделия из минеральной ваты

Теплоизоляционный материал, имеющий структуру ваты (рыхлый материал, состоящий из тонких волокон стекловидной структуры, размером от 0,5 до 12 мкм, длина волокон колеблется от 2-3 мкм до 20 мм) и изготовленный из расплава горной породы, шлака или стекла.

Для производства минераловатных изделий применяют сравнительно небольшое количество исходных сырьевых материалов. Однако имеющиеся значительные технологические разработки позволяют получать теплоизоляционные изделия довольно широкой номенклатуры. Свойства изделий можно регулировать, изменяя технологию обработки, состав материала и характер пористости. Это позволяет выпускать разнообразные изделия (рис. 3.1) с заранее заданными свойствами применительно к различным условиям эксплуатации [12].

Различают три типа волокон:

- минеральное волокно (каменная вата), $T_{\text{прим}} = 700^{\circ}\text{C}$;
- стеклянное волокно, $T_{\text{прим}} = 400^{\circ}\text{C}$;
- огнеупорные волокна, $T_{\text{прим}} = 1000^{\circ}\text{C}$ (для технических целей).

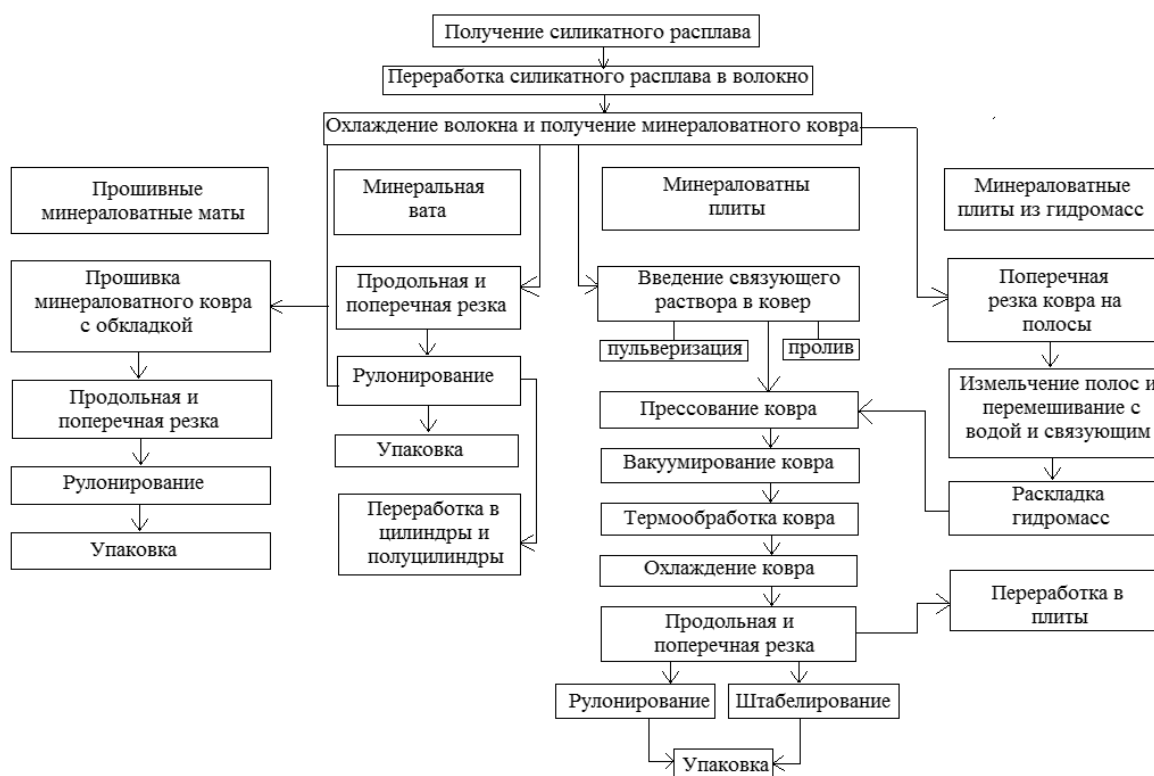


Рисунок 3.1 – Схема технологического процесса производства минераловатных изделий

3.1. Минеральная вата

Минеральную вату (рис. 3.2) в соответствии с ГОСТ 4640 в зависимости от диаметра волокна подразделяют на три вида:

- ВМСТ – вата минеральная из супертонкого волокна диаметром от 0,5 до 3,0 мкм;
- ВМТ – вата минеральная из тонкого волокна диаметром от 3 до 6 мкм,
- ВМ – вата минеральная с диаметром волокна от 6 до 12 мкм.

Вату в зависимости от плотности изготавливают марок: ВМ-35, ВМ-50, ВМ-70.



Рисунок 3.2 – Минеральная вата

Условное обозначение ваты должно состоять из ее наименования, обозначения марки и обозначения настоящего стандарта.

Пример условного обозначения минеральной ваты марки ВМ-35: Вата минеральная ВМ-35 ГОСТ 4640-2011 «Вата минеральная. Технические условия».

Таблица 3.1 – Физико-механические и теплофизические показатели минеральной ваты

Наименование показателя	Значение показателя для марки		
	ВМ-35	ВМ-50	ВМ-70
Плотность, кг/м ³ , не более	35	50	70
Модуль кислотности, не менее	2,0	1,6	1,4
Водостойкость, рН, не более	3,5	4,0	4,0
Средний диаметр волокна, мкм, не более	3	6	8
Содержание неволокнистых включений размером св. 0,25 мм, % по массе, не более	8	12	16
Теплопроводность, Вт/(м·К), не более, при температуре:			
283 К (10 °С)	0,038	0,037	0,036
298 К (25 °С)	0,040	0,039	0,038
398 К (125 °С)	0,070	0,065	0,050
573 К (300 °С)	-	-	0,120
Влажность, % по массе, не более	1,0	1,0	1,0
Содержание органических веществ, % по массе, не более	2,0	1,5	1,5

3.2. Маты из минеральной ваты прошивные

Маты в зависимости от плотности изготавливают марок: 35; 50; 75; 100; 125.

Предельная температура применения матов в зависимости от наличия и вида обкладок приведена в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Предельная температура применения матов

Вид обкладки	Обозначение обкладки	Предельная температура применения матов, °С
Обкладка отсутствует	-	700
Металлическая сетка	МС	700
Базальтовая ткань	БТ	700
Кремнеземная ткань	КТ	
Стеклоткань	СТ	
Сетка из стекловолокна	ССТ	450
Сетка из базальтового волокна	СБ	
Холст нетканый из стекловолокна	ХНС	
Фольга алюминиевая	Ф	
		300

Номинальные размеры и предельные отклонения размеров матов должны соответствовать указанным в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Номинальные размеры и предельные отклонения размеров

Наименование показателя	Номинальный размер, мм	Предельное отклонение, %
Длина	От 1000 до 6000 с интервалом 500 мм	± 2
Ширина	500; 600; 1000	± 1,5
Толщина	40; 50; 60; 70; 80; 90; 100; 120	+10; -3

По требованиям ГОСТ 21880-2011 маты должны быть прошиты сплошными швами в продольном или поперечном направлении (рис. 3.3). Маты, применяемые в строительстве, должны быть прошиты только в продольном направлении.

Маты покрывают обкладкой с одной или двух сторон. Маты длиной до 2000 мм могут быть покрыты обкладкой с четырех или шести сторон.

Условное обозначение матов должно включать в себя сокращенное обозначение изделия (МП), обозначение обкладки в соответствии с таблицей 1, марку по плотности, номинальные размеры по длине, ширине и толщине в миллиметрах и обозначение настоящего стандарта.



Рисунок 3.3 – Маты из минеральной ваты прошивные

Пример условного обозначения мата прошивного с обкладкой из алюминиевой фольги, марки 100, длиной 6000, шириной 1000 и толщиной 40 мм:
МП(Ф)-100-6000.1000.40 ГОСТ 21880 – 2011

По физико-механическим и теплофизическим показателям маты должны соответствовать требованиям, приведенным в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Физико-механические и теплофизические показатели

Наименование показателя	Значение показателя для матов марки				
	35	50	75	100	125
Плотность, кг/м ³	от 25 до 35	св. 35 до 50	св. 50 до 75	св. 75 до 100	св. 100 до 125
Теплопроводность, Вт/(м · К), не более, при условиях эксплуатации:					
А	0,044	0,042	0,042	0,041	0,041
Б	0,050	0,047	0,045	0,045	0,045
Паропроницаемость, мг/(м·ч·Па)	0,042 – 0,046	0,040 – 0,044	0,038 – 0,042	0,038 – 0,042	0,038 – 0,042
Сжимаемость, %, не более	55	45	35	25	20
Упругость, %, не менее	80	85	90	90	90
Содержание органических веществ, % по массе, не более	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0
Разрывная нагрузка, Н, не менее	40	60	80	100	120
Влажность, % по массе, не более	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Маты (кроме матов с обкладкой из алюминиевой фольги) относятся к группе негорючих материалов (НГ). Маты с обкладкой из алюминиевой фольги относятся к группе горючести Г1.

3.3. Плиты из минеральной ваты на синтетическом связующем, теплоизоляционные

Теплоизоляционные плиты из минеральной ваты на синтетическом связующем с гидрофобизирующими добавками или без них (ГОСТ 9573-2012), кашированные облицовочным материалом (бумагой, алюминиевой фольгой, стеклохолстом и др.) или без него, предназначенные для тепло- и звукоизоляции ограждающих строительных конструкций жилых (в т.ч. индивидуальных), общественных и производственных зданий и сооружений в условиях, исключающих контакт изделий с воздухом внутри помещений, для изготовления трехслойных панелей, а также для тепловой изоляции промышленного оборудования с температурой изолируемой поверхности от минус 60 °С до плюс 400 °С.

Условное обозначение плит должно включать в себя сокращенное обозначение в соответствии с таблицей 3.5, группу горючести, номинальные размеры в миллиметрах, обозначение настоящего стандарта.

Таблица 3.5 – Виды, марки и рекомендуемая область применения плит

Вид плиты	Марка по плотности	Сокращенное обозначение	Рекомендуемая область применения
Плита мягкая ПМ	40 50	ПМ-40 ПМ-40	Ненагруженная тепло-, звукоизоляция скатных крыш, перекрытий, полов первого этажа, каркасных перегородок. Тепловая изоляция промышленного оборудования и трубопроводов при температуре изолируемой поверхности от минус 60 °С до плюс 400 °С.
Плита полужесткая ПП	60 70 80	ПП-60 ПП-70 ПП-80	Ненагруженная тепло-, звукоизоляция скатных крыш, полов, потолков, внутренних перегородок, легких каркасных конструкций, трехслойных облегченных стен малоэтажных зданий из кирпича, газобетонных и др. блоков. Тепловая изоляция промышленного оборудования и трубопроводов при температуре изолируемой поверхности от минус 60 °С до плюс 400 °С.
Плита жесткая ПЖ	100 120 140	ПЖ-100 ПЖ-120 ПЖ-140	Тепло-, звукоизоляция стен, в т.ч. фасадных с вентилируемым зазором, подвальных перекрытий с нижней стороны, трехслойных облегченных стен малоэтажных зданий из кирпича, газобетонных и др. блоков. Теплоизоляционный слой в трехслойных панелях для стеновых и кровельных конструкций. Тепловая изоляция промышленного оборудования при температуре изолируемой поверхности от минус 60 °С до плюс 400 °С.

Продолжение таблицы 3.5.

Вид плиты	Марка по плотности	Сокращенное обозначение	Рекомендуемая область применения
Плита повышенной жесткости ППЖ	160 180 200	ППЖ-160 ППЖ-180 ППЖ-200	Тепло-, звукоизоляция, подвергающаяся нагрузке в плоских кровлях из профилированного настила или железобетона без устройства цементной стяжки или выравнивающего слоя. Тепловая изоляция фасадов зданий с последующим оштукатуриванием или устройством защитно-покровного слоя. Теплоизоляционный слой в трехслойных панелях для стеновых и кровельных конструкций. Тепловая изоляция промышленного оборудования при температуре изолируемой поверхности от минус 60 °С до плюс 400 °С.
Плита твердая ПТ	220 250 300	ПТ-220 ПТ-250 ПТ-300	Тепло-, звукоизоляция, отделочные плиты для потолков и стен. Тепло-, звукоизоляция, подвергающаяся нагрузке в плоских кровлях из профилированного настила или железобетона без устройства упрочняющей стяжки или выравнивающего слоя. Шумо- и звукоизоляция оснований оборудования, полов, перекрытий, перегородок

При наличии каширования дополнительно (после группы горючести) в условное обозначение включают сокращенное обозначение (первую букву) облицовочного материала, например: Б – бумага; С – стеклохолст; Ф – алюминиевая фольга.



Рисунок 3.4 – Плита мягкая ПМ



Рисунок 3.5 – Плита полужесткая ПП

Пример условного обозначения мягкой плиты марки 50, негорючей, длиной 1000, шириной 600, толщиной 30 мм:

ПМ-50(НГ)-1000.600.30 ГОСТ 9573-2012;

то же, твердой плиты марки 300, группы горючести Г2, кашированной алюминиевой фольгой, длиной 1000, шириной 600, толщиной 20 мм:

ПТ-300(Г2)Ф-1000.600.20 ГОСТ 9573-2012.

Номинальные линейные размеры плит и предельные отклонения размеров должны соответствовать указанным в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Номинальные размеры и предельные отклонения размеров

Сокращенное обозначение плиты	Длина		Ширина		Толщина	
	Номинальное значение, мм	Предельное отклонение, %	Номинальное значение, мм	Предельное отклонение, %	Номинальное значение, мм	Предельное отклонение, %
ПМ-40 ПМ-50	1000; 2000	±0,8	400; 500; 600; 1000	±2 мм	от 30 до 200	-2; +5
ПП-60 ПП-70 ПП-80	1000; 2000	±0,5	400; 500; 600; 1000	±2 мм	от 30 до 200	±2
ПЖ-100 ПЖ-120 ПЖ-140	500; 600; 1000; 2000	±0,5	400; 500; 600; 1000	±2 мм	от 30 до 200	±2
ППЖ-160 ППЖ-180 ППЖ-200	500; 600; 1000; 2000	±0,5	400; 500; 600; 1000	±0,5%	от 20 до 200	±2
ПТ-220 ПТ-250 ПТ-300	500; 600; 1000; 2000	±0,5	400; 500; 600; 1000	±0,5%	от 20 до 200	±2

По физико-механическим показателям плиты должны соответствовать требованиям, приведенным в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Физико-механические показатели плит

Наименование показателя	Значение для плит марок													
	ПМ-40	ПМ-50	ПП-60	ПП-70	ПП-80	ПЖ-100	ПЖ-120	ПЖ-140	ППЖ-160	ППЖ-180	ППЖ-200	ПТ-220	ПТ-250	ПТ-300
Плотность, кг/м	от 40 до 45 включ.	св. 45 до 55 включ.	св. 55 до 65 включ.	св. 65 до 75 включ.	св. 75 до 90 включ.	св. 90 до 110 включ.	св. 110 до 130 включ.	св. 130 до 150 включ.	св. 150 до 170 включ.	св. 170 до 190 включ.	св. 190 до 210 включ.	св. 210 до 230 включ.	св. 230 до 270 включ.	св. 270 до 330 включ.
Теплопроводность, Вт/(м·К), не более, при температуре: 10 °С [(283±5) К] 25 °С [(298±5) К] 125 °С [(398±5) К]														
	0,040	0,040	0,038	0,037	0,037	0,036	0,037	0,037	0,038	0,038	0,039	0,039	0,040	0,042
	0,042	0,042	0,040	0,039	0,039	0,038	0,039	0,039	0,042	0,044	0,045	0,045	0,045	0,046
	0,060	0,060	0,056	0,056	0,054	0,052	0,051	0,050	0,051	0,052	0,054	0,054	0,056	0,060
Сжимаемость, % не более	25	20	15	12	8	6	4	2	-	-	-	-	-	-
Прочность на сжатие при 10%-ной линейной деформации, кПа, не менее	-	-	4	8	20	25	30	35	40	50	60	80	100	150
Прочность на сжатие при 10%-ной линейной деформации после сорбционного увлажнения, кПа, не менее	-	-	3,5	5,5	15	20	25	30	35	44	52	70	85	125

Продолжение таблицы 3.7.

Наименование показателя	Значение для плит марок													
	ПМ-40	ПМ-50	ПП-60	ПП-70	ПП-80	ПЖ-100	ПЖ-120	ПЖ-140	ППЖ-160	ППЖ-180	ППЖ-200	ПТ-220	ПТ-250	ПТ-300
Прочность на отрыв слоев, кПа, не менее	-	-	-		4,5	5,5	6,5	7,5	8,6	10	12	-	-	-
Водопоглощение при частичном погружении, % по массе, не более	30	30	25	20	15	15	15	15	12	12	12	10	8	6
Содержание органических веществ, % по массе, не более	3,0	3,0	3,5	3,5	4,0	4,0	4,5	4,5	5,0	5,0	5,0	7,0	7,5	10,0
Полнота поликонденсации связующего, %, не менее	90	90	90	90	90	91	91	91	93	93	93	93	93	93
Влажность, % по массе, не более	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

4. Испытание минеральной ваты и изделий на основе минеральной ваты

У минеральной ваты и изделий на основе минеральной ваты устанавливают следующие технические показатели:

- линейные размеры;
- внешний вид;
- правильность геометрической формы;
- плотность;
- влажность;
- сорбционная влажность;
- водопоглощение;
- содержание органических веществ;
- полнота поликонденсации фенолоформальдегидного связующего;
- прочность на сжатие при 10 %-ной линейной деформации;
- предел прочности при сжатии;
- предел прочности при изгибе;
- предел прочности при растяжении;
- сжимаемость и упругость;
- гибкость;
- средний диаметр волокон минеральной и стеклянной ваты;
- кислотное число;
- модуль кислотности минеральной ваты (ускоренный метод).

По требованиям Международной организации по стандартизации (ИСО) на маты и плиты из минеральной ваты и стеклянного волокна определяют следующие технические показатели:

- линейные размеры;
- правильность геометрической формы;
- прочность на сжатие;
- разрушающая сила при изгибе;
- прочность при растяжении;
- предел прочности на отрыв слоев.

4.1. Измерение линейных размеров

Материалы и оборудование:

- линейка металлическая по ГОСТ 427 (предел допускаемой погрешности измерения $\pm 0,5$ мм);
- рулетка металлическая с ценой деления 1 мм по ГОСТ 7502 (предел допускаемой погрешности измерения $\pm 0,5$ мм);
- штангенциркуль по ГОСТ 166 (предел допускаемой погрешности измерения $\pm 0,1$ мм);
- шаблоны специальные металлические (рис. 4.1);

- толщиномер игольчатый (рис. 4.2) (предел допускаемой погрешности измерения $\pm 0,5$ мм);
- игла металлическая измерительная длиной не менее 150 мм и диаметром не более 6 мм с ценой деления 1 мм (предел допускаемой погрешности измерения $\pm 0,5$ мм);
- труба опорная металлическая.

Методика проведения испытаний:

Для измерения размеров до 1 м применяют линейку, св. 1 м – рулетку. Длина измерительного инструмента должна быть не менее длины изделия.

Длину плиты, блока, мата измеряют в трех местах: на расстоянии (50 ± 5) мм от каждого края и посередине изделия.

Длину цилиндра измеряют по наружной поверхности вдоль четырех образующих, отстоящих друг от друга на $1/4$ дуги окружности.

Длину полуцилиндра и сегмента измеряют по наружной поверхности в трех местах: на расстоянии (50 ± 5) мм от каждой продольной кромки и посередине изделия.

Длину развернутого шнура измеряют вдоль одной образующей.

Ширину плиты, измеряют в трех местах: на расстоянии (50 ± 5) мм от каждого края и посередине изделия.

Ширину мата измеряют на расстоянии (50 ± 5) мм от каждого края и через каждый метр длины.

Внутренний диаметр цилиндра, полуцилиндра и сегмента измеряют линейкой в четырех местах: на торцах цилиндра в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Из полуцилиндров и сегментов предварительно собирают цилиндр. Место измерения не должно совпадать с разрезом цилиндра или соединительными стыками полуцилиндров и сегментов.

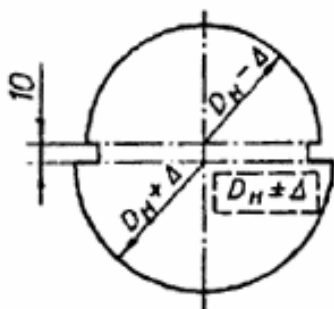


Рисунок 4.1 – Шаблон для проверки внутреннего диаметра полуцилиндра или сегмента

Допускается внутренний диаметр полуцилиндра или сегмента проверять специальным шаблоном (рис. 4.1), помещая его внутри изделия поочередно меньшей и большей полуокружностью в трех местах: посередине изделия и на расстоянии (50 ± 5) мм от каждого торца. При этом меньшая полуокружность шаблона ($D_n - \Delta$), соответствующая наименьшему предельному размеру внутреннего диаметра, должна касаться, а большая ($D_n + \Delta$), соответствующая наибольшему предельному размеру внутреннего диаметра, не должна касаться

нижней точки внутренней поверхности изделия (Δ – допускаемое отклонение внутреннего диаметра полуцилиндра или сегмента от номинального).

Диаметр шнура измеряют штангенциркулем в пяти местах, равномерно расположенных по длине. Первое и последнее измерения — на расстоянии не менее (150 ± 5) мм от концов шнура.

Измерение толщины плоских волокнистых изделий производят толщиномером (рис. 4.2).

– толщиномер устанавливают на поверхности изделия (масса основания 6 с корпусом 5 толщиномера должна создавать удельную нагрузку $(500 \pm 7,5)$ Па), помещенного на столе;

– винтом 3 освобождают вставку толщиномера, левой рукой придерживают корпус 5, а правой – ручку 1;

– нажимая правой рукой на ручку 1, опускают вниз вставку 4 с иглой 8, при этом игла 8 вертикально прокалывает изделие до упора о поверхность стола;

– левой рукой плавно опускают корпус толщиномера с основанием на изделие;

– через 5 м по шкале 11 при помощи указателя на стекле 12 отсчитывают толщину изделия.

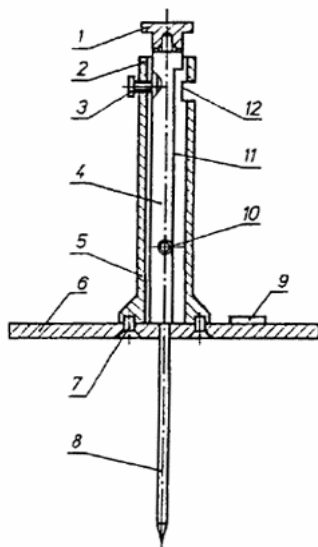


Рис. 4.2. Толщиномер: 1 – ручка; 2 – втулка; 3 – зажимной винт; 4 – вставка; 5 – корпус; 6 – основание; 7 – крепежный винт; 8 – игла; 9 – табличка; 10 – крепежный винт; 11 – шкала; 12 – стекло

В плите измеряют толщину в пяти местах: в центре и в четырех углах, располагая иглу толщиномера на расстоянии (150 ± 5) мм от смежных краев плиты.

В матах измеряют толщину в четырех углах на расстоянии (150 ± 5) мм от смежных краев, затем через каждый метр длины мата в трех местах по ширине: в двух местах на расстоянии (150 ± 5) мм от краев и один раз по средней линии.

Измерение толщины прошивных изделий производят со смещением от указанных выше мест таким образом, чтобы игла толщиномера располагалась между швами.

Измерение толщины стенок волокнистых цилиндров и полуцилиндров изделий производят на опорной трубе при помощи металлической измерительной иглы.

Толщину стенки изделия измеряют иглой, прокалывая стенку на всю толщину перпендикулярно к наружной поверхности.

Толщину стенки цилиндра измеряют в шести местах: в середине и в двух местах на расстоянии (50 ± 5) мм от торцов по направлению каждой из двух диаметрально расположенных образующих цилиндра.

Толщину стенки полуцилиндра измеряют в трех местах: в середине и в двух местах на расстоянии (50 ± 5) мм от торцов по направлению средней образующей полуцилиндра.

Примечание: Допускается толщину стенки цилиндра измерять штангенциркулем в восьми местах: на торцах в двух взаимно перпендикулярных направлениях, а полуцилиндра - в шести местах: по два измерения на расстоянии (50 ± 5) мм от торцов и посередине каждого торца изделия.

Обработка результатов испытаний:

Результат каждого из измеренных значений длины, ширины, толщины, диаметра отдельного изделия не должен превышать значения предельного отклонения, установленного в нормативном документе на продукцию конкретного вида для каждого номинального размера.

Значение каждого геометрического размера округляют до 1 мм.

4.2. Измерение линейных размеров минераловатных и стекловатных матов и плит в соответствии с ИСО 8144 и ИСО 8145

Распространяется на теплоизоляционные маты и плиты из минеральной и стеклянной ваты на синтетическом связующем при проведении сертификации минераловатных и стекловатных матов и плит в соответствии с требованиями ИСО

Материалы и оборудование:

- линейка металлическая по ГОСТ 427;
- рулетка металлическая с ценой деления 1 мм по ГОСТ 7502;
- толщиномер игольчатый (рис. 4.3, 4.4);
- прибор для определения толщины (рис. 4.5).

Предел допускаемой погрешности измерения размеров линейкой, рулеткой, толщиномером, прибором для измерения толщины $\pm 0,5$ мм.

Методика проведения испытаний:

- мат, плиту кладут на плоскую горизонтальную твердую поверхность;
- длину l мата, плиты измеряют в двух местах: на расстоянии (100 ± 5) мм от каждого края, результат каждого измерения длины мата округляют до ближайшего числа, кратного 5; длины плиты - до ближайшего целого числа;

– ширину h мата, плиты измеряют в трех местах: на расстоянии (100 ± 5) мм от каждого края и посередине изделия, ширины мата - до ближайшего числа, кратного 2; ширины плиты - до ближайшего целого числа.

Вычисляют среднее арифметическое значение округленных результатов двух измерений длины мата, плиты и округленных результатов трех измерений ширины.

Сущность измерения толщины матов заключается в измерении расстояния между плоской твердой поверхностью, на которой лежит мат, и пластиной, свободно лежащей на этой поверхности и создающей заданную удельную нагрузку.

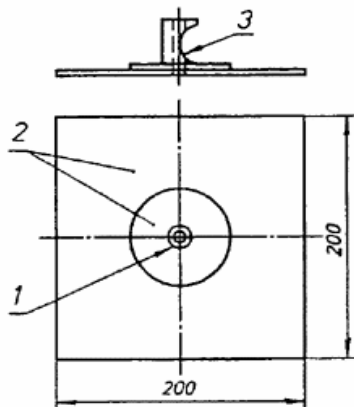


Рисунок 4.3 – Пластина, создающая заданную удельную нагрузку:

1 – отверстие, диаметр которого достаточен для того, чтобы вставить иглу в направлении, перпендикулярном пластине; 2 – жесткий материал; 3 – канавка для большого пальца

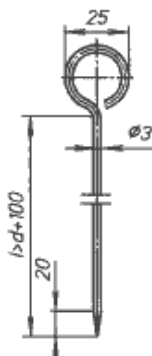


Рисунок 4.4 – Игла

Толщину измеряют игольчатым толщиномером (рис. 4.3, 4.4), состоящим из пластины, которая создает заданную удельную нагрузку ($50 \pm 1,5$ Па) и иглы:

- от мата отрезают первый и последний 0,5 м рулона, т. к. они не должны подвергаться испытанию. Оставшуюся часть рулона разрезают на куски длиной 1 - 1,5 м. Куски кладут на плоскую горизонтальную твердую поверхность, если мат имеет обкладку, то его кладут обкладкой вниз;

- пластину медленно кладут на мат или вырезанный из него кусок так, чтобы ее центр совпадал с первой точкой, в которой следует провести измерение толщины;

- вращая иглу, прокалывают ею мат или кусок в вертикальном направлении до упора о твердую горизонтальную поверхность, на которой лежит мат или кусок;

- прижимают иглу к рукоятке большим пальцем и извлекают ее из мата или куска, держа ее прижатой к пластине;

- измеряют расстояние от заостренного конца иглы до пластины с погрешностью не более 1 мм. Это расстояние равно толщине мата или куска в том месте, в котором проведено измерение.

Толщину мата или вырезанного из него куска измеряют в четырех точках (рис. 4.6). Результат каждого измерения толщины округляют до ближайшего целого числа. Вычисляют среднее арифметическое значение округленных результатов четырех измерений толщины.

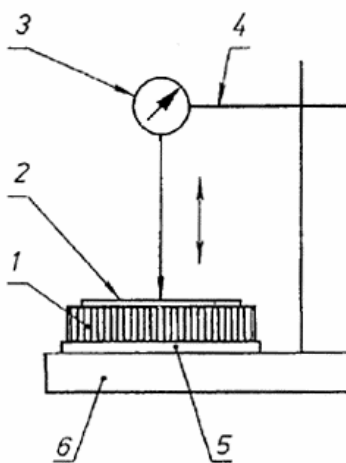


Рисунок 4.5 – Схема прибора для измерения толщины

1 – образец; 2 – верхняя плоская пластина, имеющая форму круга; 3 – индикатор перемещения с круговой шкалой; 4 – жесткая рама; 5 – нижняя плоская пластина; 6 – плоская жесткая опорная плита

Толщину плит измеряют прибором (рис. 4.5), в состав которого входят:

- плоская жесткая опорная плита 6, имеющая форму квадрата со стороной 300 мм;

- жесткая рама 4, укрепленная на этой плите;

- индикатор с круговой шкалой 3, цена деления которой 0,1 мм;

- верхняя плоская пластина 2, имеющая форму круга диаметром 200 мм и создающая совместно со стержнем индикатора удельную нагрузку (100 ± 3) Па.

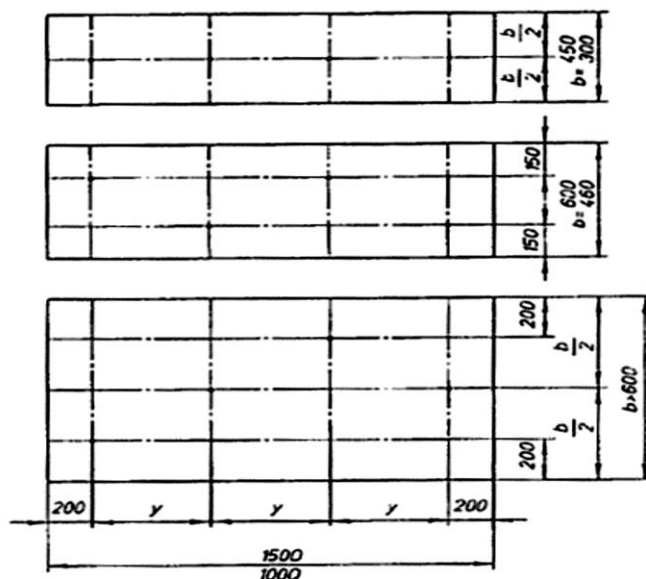


Рисунок 4.6 – Расположение точек, в которых проводят измерения толщины мата

- помещают плиту между нижней и верхней пластинами прибора;
- верхнюю пластину медленно опускают на плиту так, чтобы она свободно легла на поверхность плиты и ее центр совпадал с первой точкой, (не заходила за кромку образца) в которой следует провести измерение толщины;
- толщину плиты измеряют в двух точках (рис. 4.7). результат каждого измерения толщины округляют до ближайшего целого числа. Вычисляют среднее арифметическое значение округленных результатов двух измерений.

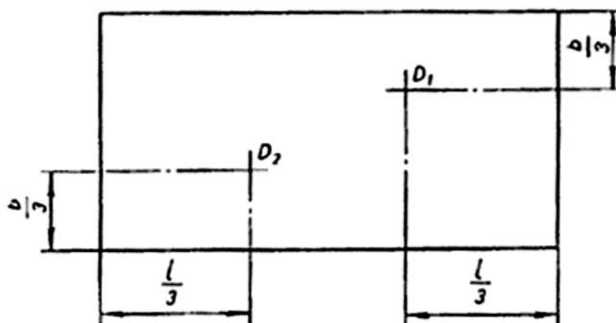


Рисунок 4.7 – Расположение точек, в которых измеряют толщины плиты

4.3. Контроль внешнего вида изделия

Сущность метода заключается в визуальном осмотре изделий и линейных измерениях замеченных дефектов.

Материалы и оборудование:

- линейка металлическая по ГОСТ 427, предел допускаемой погрешности измерения $\pm 0,5$ мм;
- штангенциркуль по ГОСТ 166, предел допускаемой погрешности измерения $\pm 0,1$ мм.
- метр складной металлический.

Методика проведения испытаний:

- у волокнистых изделий осматривают состояние поверхности или покровного материала и устанавливают число дефектов. Размеры обнаруженных дефектов (дыры, разрывы, проколы, трещины и пр.) измеряют линейкой. За результат принимают наибольшее значение;
- у вертикально-слоистых матов измеряют линейкой ширину зазора между полосами посередине изделия по направлению его длины: через пять полос при длине мата до 2,5 м и через десять полос – св. 2,5 м. За результат измерения принимают наибольшее значение;
- ширину продольной кромки покровного материала вертикально-слоистых матов измеряют с погрешностью ± 1 мм через 500 мм по длине мата, но не менее чем в шести местах.

4.4. Контроль правильности геометрической формы

Материалы и оборудование:

- линейки металлические с пределом измерения 150, 500 и 1000 мм по ГОСТ 427, предел допускаемой погрешности измерения: $\pm 0,5$ мм;
- рулетка измерительная металлическая с ценой деления 1 мм по ГОСТ 7502, предел допускаемой погрешности измерения: $\pm 0,5$ мм/м;
- угольник поверочный типа УП с $H = 160$ мм по ГОСТ 3749;
- штангенциркуль по ГОСТ 166, предел допускаемой погрешности измерения: $\pm 0,1$ мм.

Методика проведения испытаний:

Отклонение от перпендикулярности смежных граней плиты, проверяют в четырех местах: посередине боковых и торцевых граней; в цилиндре, полуцилиндре и сегменте в двух местах: посередине торцевых граней.

Угольник прикладывают опорной поверхностью к торцевым (боковым) граням так, чтобы его измерительная поверхность касалась одной из наибольших граней в изделиях с плоскими поверхностями или одной из образующих цилиндрической поверхности в цилиндрах, полуцилиндрах и сегментах, и измеряют линейкой наибольший зазор между измерительной

поверхностью угольника и поверхностью изделия. Результат измерения округляют до 1 мм.

Для определения разности длин диагоналей измеряют длины двух диагоналей:

- в изделии с плоскими поверхностями - на наибольшей грани;
- в полуцилиндрах - измеряя расстояние между вершинами диагонально расположенных наружных углов в плоскости, образованной ребрами;
- в сегментах - измеряя расстояние между вершинами диагонально расположенных внутренних углов.

Отклонение от прямолинейности ребра изделия проверяют путем приложения к нему по всей длине ребра линейки и измерения расстояния между ними другой линейкой в местах:

- наибольшего зазора - для ребра с вогнутостью;
- зазоров по краям - для работы с выпуклостью.

За результат измерения отклонения от прямолинейности ребра с выпуклостью принимают значение наибольшего из измеренных зазоров, округленное до 1 мм.

Разнотолщинность вычисляют как разность между наибольшим и наименьшим значениями толщины.

Отклонение от цилиндричности изделий определяют путем приложения ребра линейки к образующей цилиндрической поверхности и измерения другой линейкой зазоров между поверхностью изделия и ребром приложенной линейки.

Линейку прикладывают к цилиндрической поверхности цилиндра последовательно в четырех перпендикулярно расположенных местах, а полуцилиндра и сегмента - в трех местах (посередине и на расстоянии (50 ± 5) мм от краев изделия) и измеряют:

- наибольший зазор - для поверхности с вогнутостью;
- зазоры по краям - для поверхности с выпуклостью.

За результат измерения отклонения от цилиндричности поверхности изделия с выпуклостью принимают значение наибольшего из измеренных зазоров, округленное до 1 мм.

4.5. Контроль правильности геометрической формы минераловатных и стекловатных матов и плит в соответствии с ИСО 8144 и ИСО 8145

Распространяется на теплоизоляционные маты и плиты из минеральной и стеклянной ваты на синтетическом связующем при проведении сертификации минераловатных и стекловатных матов и плит в соответствии с требованиями ИСО

Материалы и оборудование:

- линейка деревянная, длина которой больше длины плиты не менее чем на 150 мм;
- линейка металлическая с ценой деления 1 мм по ГОСТ 427, предел допускаемой погрешности измерения: $\pm 0,5$ мм

- рулетка металлическая с ценой деления 1 мм по ГОСТ 7502, предел допускаемой погрешности измерения: $\pm 0,5$ мм
- угольник поверочный типа УП с $H = 160$ мм по ГОСТ 3749;
- угольник поверочный типа УШ с $H = 630$ мм по ГОСТ 3749;
- два одинаковых деревянных бруска длиной (100 ± 1) мм, шириной $(25 \pm 0,5)$ мм, толщиной $(25 \pm 0,5)$ мм.

Методика проведения испытаний:

Измерение отклонения от прямоугольности по ширине проводят для матов, длина которых менее 3 м, и плит. Сущность метода заключается в измерении отклонения углов, образуемых боковыми гранями мата, плиты, от прямого угла:

- плиту кладут на плоскую горизонтальную твердую поверхность;
- поверочный угольник кладут на эту поверхность так, чтобы одна из его сторон была направлена вдоль длинной грани мата, плиты, а другая сторона угольника - вдоль смежной с ней короткой грани этого изделия (рис. 4.8);
- измеряют расстояние a между кромкой угольника и короткой гранью мата, плиты в том месте, где оно максимально.
- повторяют измерение на противоположной короткой грани мата, плиты (выраженный в миллиметрах результат каждого измерения округляют до ближайшего целого числа).
- по двум измерениям значениям расстояния a и значению ширины b мата вычисляют для каждой короткой грани отклонение от прямоугольности по ширине мата, выраженное в миллиметрах на 100 мм его ширины.

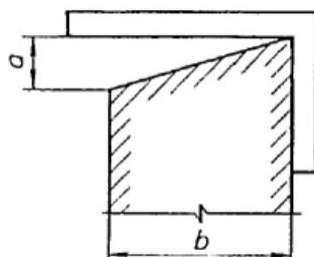


Рисунок 4.8 – Измерение отклонения от прямоугольности по ширине мата, плиты

Сущность метода измерения отклонения от прямоугольности по толщине плит заключается в измерении отклонения углов, образуемых короткими боковыми гранями плиты с ее лицевыми гранями, от прямого угла:

- плиту кладут на плоскую горизонтальную твердую поверхность;
- ставят поверочный угольник на эту поверхность рядом с одним из углов плиты (рис. 4.9);
- измеряют расстояние a между кромкой угольника и ребром плиты, образуемым короткой боковой и лицевой гранями, в том месте, где оно максимально;
- повторяют измерение для трех остальных углов плиты.

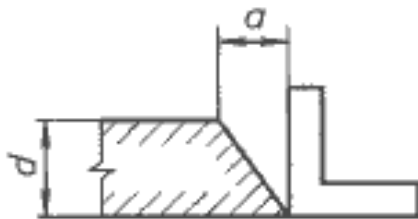


Рисунок 4.9 – Измерение отклонения от прямоугольности по толщине плиты

Выраженный в миллиметрах результат каждого измерения округляют до ближайшего целого числа. Вычисляют среднее арифметическое значение округленных результатов четырех измерений.

Сущность метода измерения отклонения от плоскостности плит заключается в измерении локального отклонения от плоскостности плиты при помощи деревянной поверочной линейки:

- плиту кладут на плоскую горизонтальную твердую поверхность выпуклой стороной вниз;
- на плите устанавливают два деревянных бруска, толщина которых известна и равна y ;
- на бруски вдоль плиты кладут деревянную поверочную линейку (рис. 4.10).

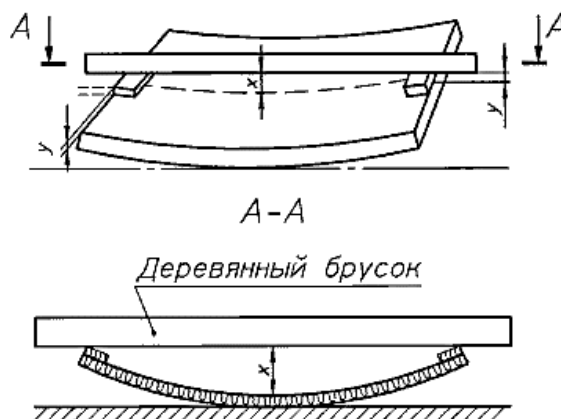


Рисунок 4.10 – Измерение отклонения от плоскостности плиты

- металлической линейкой измеряют максимальное расстояние x от нижней кромки поверочной линейки до поверхности лицевой грани плиты;
- повторяют измерение, установив бруски так, что положенная на них поверочная линейка расположена перпендикулярно своему первоначальному положению, т.е. поперек плиты.

Обработка результатов испытаний:

- вычисляют два значения локального отклонения от плоскостности плиты, каждое из которых равно разности $(x - y)$. Выраженные в миллиметрах результаты вычислений округляют до ближайшего целого числа;

– вычисляют в процентах отношения двух округленных значений разности $(x - y)$ соответственно к длине и ширине плиты.

4.6. Определение плотности рыхлых волокнистых материалов

Материалы и оборудование:

- толщиномер проб для определения плотности рыхлых волокнистых материалов (рис. 4.11);
- весы с пределом допускаемой погрешности взвешивания ± 1 г;
- электрошкаф сушильный, обеспечивающий температуру нагрева до 105°C и автоматическое регулирование температуры с пределом допускаемой погрешности $\pm 5^\circ\text{C}$.

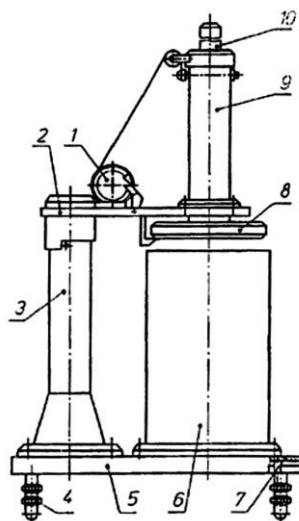


Рисунок 4.11 – Толщиномер проб: 1 – храповик; 2 – кронштейн; 3 – колонна; 4 – установочный винт; 5 – основание; 6 – цилиндр; 7 – задвижка; 8 – диск; 9 – корпус; 10 – шток

Методика проведения испытаний:

- при помощи храповика 1 шток прибора 10 (рис. 4.11) с диском 8 поднимают в крайнее верхнее положение и поворачивают его влево на 90° . Предварительно взвешенную пробу волокнистого материала массой (500 ± 10) г укладывают горизонтальными слоями в цилиндр 6;
- кронштейн 2 поворачивают обратно на 90° и при помощи храповика 1 шток 10 с диском 8 опускают в цилиндр 6 на испытуемый материал, при этом освобождается канат храповика 1;
- через 5 мин выдержки материала под удельной нагрузкой (2000 ± 30) Па производят с погрешностью не более 0,5 мм отсчет показания толщины пробы по шкале прибора;
- пробу удаляют через нижнюю часть цилиндра 6, выдвинув задвижку 7.

Обработка результатов испытаний:

Объем рыхлого волокнистого материала V под удельной нагрузкой (2000 ± 30) Па вычисляют в м^3 с округлением до $0,0001 \text{ м}^3$ по формуле 4.1:

$$V = \pi R^2 h \quad (4.1)$$

где R – внутренний радиус цилиндра, м; h – высота сжатого слоя материала в цилиндре, м.

Плотность материала ρ (кг/м³) под удельной нагрузкой (2000 ± 30) Па вычисляют по формуле 4.2:

$$\rho = \frac{m}{V(1 + 0,01W)} \quad (4.2)$$

где m – масса пробы рыхлого волокнистого материала, кг; V – объем, занимаемый пробой в приборе под удельной нагрузкой (2000 ± 30) Па, м³; W – влажность материала, %.

Полученный результат плотности округляют до 1 кг/м³.

4.7. Определение плотности изделий на основе минеральной ваты (плоских, фасонных и шнуровых изделий)

Материалы и оборудование:

- весы, имеющие предел допускаемой погрешности взвешивания не более 0,5 %;
- линейка металлическая по ГОСТ 427;
- рулетка металлическая с ценой деления 1 мм по ГОСТ 7502;
- штангенциркуль по ГОСТ 166;
- толщиномер игольчатый;
- электрошкаф сушильный, обеспечивающий температуру нагрева до 105 °С и автоматическое регулирование температуры с пределом допускаемой погрешности ± 5 °С.

Методика проведения испытаний:

Измеряют линейные размеры образца (длину, ширину, толщину, диаметр) и вычисляют его объем. (без учета толщины покровного материала, если его номинальная толщина превышает 1 мм).

Образец взвешивают с погрешностью не более 0,5 %. (если образец имеет покровный материал, масса которого превышает 2 % массы образца, то ее необходимо вычесть из массы образца).

Определение плотности на образцах допускается для изделий, имеющих длину более 500 мм. При этом длина образца должна быть не менее 500 мм, ширина – не менее 500 мм или равна ширине изделия.

Длина образца шнура должна быть не менее 1000 мм.

Обработка результатов испытаний:

Плотность ρ для образцов без покровного материала:

$$\rho = \frac{m}{V(1 + 0,01W)} \quad (4.3)$$

где m – масса образца, кг; W – влажность образца, %; V – объем образца, м³

Плотность ρ для образцов с покровного материала:

$$\rho = \frac{m_2 - m_3}{V(1 + 0,01W)} \quad (4.4)$$

где m_2 – масса образца с покровным материалом, кг; m_3 – масса покровного материала после отделения от него теплоизоляционного, слоя, кг.

Плотность ρ для для шнура или его образца

$$\rho = \frac{(m_4 - m_5 l) \cdot 4}{\pi D^2 l (1 + 0,01W)} \quad (4.5)$$

где m_4 – масса шнура (образца) с оплеткой, кг; m_5 – масса оплетки 1 пог. м шнура, кг/м; l – длина шнура (образца), м; D – диаметр шнура, м.

4.8. Метод определения влажности

Материалы и оборудование:

- электрошкаф сушильный, обеспечивающий температуру нагрева до 105 °С и автоматическое регулирование температуры с пределом допускаемой погрешности ± 5 °С;
- весы, имеющие предел допускаемой погрешности взвешивания +0,01 г;
- стаканчики стеклянные типа СВ или СН по ГОСТ 25336 или тигли по ГОСТ 9147;
- эксикатор по ГОСТ 25336;
- кальций хлористый плавленый.

Методика проведения испытаний:

Пробу массой $(5 \pm 0,1)$ г помещают в предварительно высушенный и взвешенный стаканчик или тигель и высушивают в сушильном электрошкафу до постоянной массы.

После высушивания перед каждым повторным взвешиванием стаканчик или тигель с пробой охлаждают в эксикаторе над хлористым кальцием.

При подготовке проб (образцов) к испытанию необходимо с изделия удалить покровный материал.

Обработка результатов испытаний:

Влажность W в процентах вычисляют по формуле 4.6:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_3} 100\% \quad (4.6)$$

где m_1 – масса стаканчика или тигля с пробой до высушивания, г; m_2 – масса стаканчика или тигля с пробой, высушенной до постоянной массы, г; m_3 – масса стаканчика или тигля, г.

Полученный результат влажности округляют до 0,1 %.

4.9. Ускоренный метод определения сорбционной влажности

Сущность метода заключается в измерении массы воды, адсорбированной образцом сухого материала при определенных условиях в течение заданного времени.

Материалы и оборудование:

- электрошкаф сушильный, обеспечивающий температуру нагрева до 105 °С и автоматическое регулирование температуры с пределом допускаемой погрешности ± 5 °С;
- весы аналитические, имеющие предел допускаемой погрешности взвешивания $\pm 0,2$ мг;
- стаканчик (бюкс) стеклянный по ГОСТ 23932;
- эксикатор по ГОСТ 25336;
- кальций хлористый плавленный.

Методика проведения испытаний:

- пробу массой (5 ± 1) г помещают в предварительно высушенный и взвешенный стаканчик (бюкс) и высушивают до постоянной массы и до проведения испытания хранят в эксикаторе над хлористым кальцием;
- стаканчик с пробой материала помещают над водой в эксикатор и выдерживают в течение 24 или 72 ч;
- затем стаканчик с пробой материала вынимают из эксикатора и взвешивают.

Объем проб материала, одновременно помещенных в эксикатор, не должен превышать 50 % объема воздушного пространства в эксикаторе.

Обработка результатов испытаний:

Сорбционную влажность $W_{\text{сорб}}$ % вычисляют по формуле 4.7:

$$W_{\text{сорб}} = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_3} 100\% \quad (4.7)$$

где m_1 – масса бюкса с пробой после выдерживания над водой, г; m_2 – масса бюкса с пробой, высушенной до постоянной массы, г; m_3 – масса бюкса, г.

Полученный результат сорбционной влажности округляют до 0,1 %.

4.10. Метод определения водопоглощения

Материалы и оборудование:

- электрошкаф сушильный, обеспечивающий температуру нагрева до 105 °С и автоматическое регулирование температуры с пределом допускаемой погрешности ± 5 °С;
- весы, имеющие предел допускаемой погрешности взвешивания $\pm 0,01$ г.
- ванна из нержавеющей материала, имеющая сетчатые подставку и пригруз из нержавеющей материала (рис. 4.12).
- поддон для взвешивания с размерами в плане 120x120 мм, высотой бортов 10 мм;
- эксикатор по ГОСТ 25336;
- кальций хлористый плавленный.

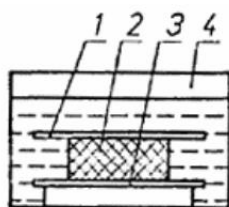


Рисунок 4.12 – Ванна с образцом, полностью погруженным в воду

1 – сетчатый пригруз; 2 – образец; 3 – сетчатая подставка; 4 – ванна

Методика проведения испытаний:

1) При полном погружении образца в воду

Сущность метода заключается в измерении массы воды, поглощенной образцом сухого материала при полном погружении в воду в течение заданного времени:

- из изделия вырезают образец в форме прямоугольного параллелепипеда длиной и шириной (100 ± 2) мм и толщиной, равной толщине изделия;
- образцы высушивают до постоянной массы и охлаждают в эксикаторе над хлористым кальцием;
- в ванну 4 (рис. 4.12) на сетчатую подставку 3 помещают образец 2 и фиксируют его положение сетчатым пригрузом 1;
- заливают в ванну воду температурой $(22 \pm 5) ^\circ\text{C}$ так, чтобы уровень воды был выше пригруза на 20 – 40 мм;
- через 24 ч после залива воды образец переносят на подставку и через 30 с взвешивают на сухом поддоне. Массу воды, вытекшей из образца во время взвешивания в поддон, включают в массу насыщенного водой образца.

2) При частичном погружении образца в воду

Сущность метода заключается в измерении массы воды, впитанной образцом сухого материала, частично погруженным в воду, в течение заданного времени:

- вырезают образец по форме прямоугольного параллелепипеда длиной и шириной (100 ± 2) мм и толщиной (30 ± 2) мм, если толщина изделия больше 30 мм, то излишек срезают с одной стороны;
- образец высушивают до постоянной массы, затем охлаждают в эксикаторе над хлористым кальцием и взвешивают.
- в ванну 3 (рис. 4.13) на сетчатую подставку 2 помещают несрезанной плоскостью образец 1;
- заливают в ванну воду температурой $(22 \pm 5) ^\circ\text{C}$ так, чтобы образец был погружен в воду на (5 ± 1) мм. При этом уровень воды в ванне поддерживают постоянным;
- после выдержки в течение 24 ч образец вынимают из воды и переносят на сетчатую подставку, через 30 с помещают в сухой поддон и взвешивают. Массу воды, вытекшей из образца во время взвешивания в поддон, включают в массу насыщенного водой образца.

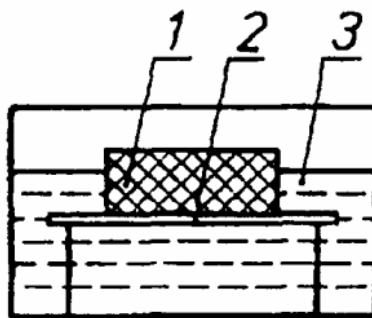


Рисунок 4.13 – Ванна с образцом, частично погруженным в воду
1 – образец; 2 – сетчатая подставка; 3 – ванна с водой

Обработка результатов испытаний:

Водопоглощение при полном или частичном погружении образца W_m % по массе вычисляют по формуле 4.8:

$$W_m = \frac{m_1 - m_2 - m_3}{m_2} \cdot 100\% \quad (4.8)$$

где m_1 – масса образца после насыщения водой и поддона для взвешивания, г; m_2 – масса образца, предварительно высушенного до постоянной массы, г; m_3 – масса сухого поддона для взвешивания, г.

4.11. Метод определения содержания органических веществ

Сущность метода основана на измерении потери массы пробы после прокаливании ее при определенной температуре в течение заданного времени.

Материалы и оборудование:

- электропечь камерная, обеспечивающая температуру нагрева до 600 °С и автоматическое регулирование температуры с пределом допускаемой погрешности ± 10 °С;
- весы, имеющие предел допускаемой погрешности взвешивания $\pm 0,01$ г;
- тигель фарфоровый по ГОСТ 9147;
- эксикатор по ГОСТ 25336;
- кальций хлористый плавленный.

Методика проведения испытаний:

- в предварительно прокаленный и взвешенный тигель помещают пробу массой $(5 \pm 0,1)$ г и высушивают до постоянной массы. До испытания пробу хранят в эксикаторе над хлористым кальцием;
- тигель с пробой помещают в камерную электропечь и при температуре (600 ± 10) °С выдерживают в течение 2 ч;
- затем тигель с пробой охлаждают в эксикаторе над хлористым кальцием и взвешивают.

Обработка результатов испытаний:

Содержание органических веществ Z_o , % вычисляют по формуле 4.9:

$$Z_o = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_3} \cdot 100\% \quad (4.9)$$

где m_1 – масса тигля с пробой, высушенной до постоянной массы, г; m_2 – масса тигля с пробой после прокаливании, г; m_3 – масса тигля, г.

Результат испытания округляют до 0,1%.

4.12. Метод определения полноты поликонденсации фенолоформальдегидного связующего

Метод распространяется на неорганические волокнистые материалы и изделия, содержащие фенолоформальдегидное связующее.

Сущность метода заключается в определении потери в массе пробы материала или изделия после экстрагирования неотвержденной части связующего ацетоном.

Материалы и оборудование:

- электропечь камерная, обеспечивающая температуру нагрева до 600 °С и автоматическое регулирование температуры с пределом допускаемой погрешности ± 10 °С;
- электрошкаф сушильный, обеспечивающий температуру нагрева до 105 °С и автоматическое регулирование температуры с пределом допускаемой погрешности ± 5 °С;
- весы аналитические, имеющие предел допускаемой погрешности взвешивания $\pm 0,2$ мг;
- прибор Сокслета для экстрагирования;
- тигель фарфоровый по ГОСТ 25336 с пористой пластиной из стекла (ПОР 160) по ГОСТ 21400;
- ступка с пестиком по ГОСТ 9147;
- чашка ЧБВ по ГОСТ 25336;
- пятиокись фосфора или кислота серная концентрированная по ГОСТ 2184;
- кальций хлористый плавленый;
- эфир петролейный;
- ацетон по ГОСТ 2603.

Методика проведения испытаний:

- пробу массой (40 ± 1) г измельчают в фарфоровой ступке;
- порошок перемешивают стеклянной палочкой, насыпают в чашку высотой слоя не более 20 мм и выдерживают для удаления влаги в эксикаторе с концентрированной серной кислотой или пятиокисью фосфора в течение 24 ч;
- из высушенного порошка отбирают две пробы массой $(10 \pm 0,2)$ г каждая. Одна проба предназначена для определения содержания органических веществ в соответствии с разделом 4.11, другая для неотвержденного

фенолоформальдегидного связующего и гидрофобизирующей добавки (при ее наличии в материалах и изделиях);

- вторую пробу помещают в предварительно взвешенный фильтрующий тигель с пористой пластиной и взвешивают;

- тигель закрывают фильтровальной бумагой и помещают в прибор Сокслета таким образом, чтобы во время экстрагирования верхняя часть тигля на 4 - 5 мм выступала над поверхностью растворителя;

- соединяют прибор с холодильником и нагревают колбу с растворителем до его кипения. Нагрев должен обеспечить сифонирование примерно 10 - 12 раз в час;

- гидрофобизирующее вещество, содержащееся в пробе, экстрагируют петролейным эфиром в течение 3 ч;

- по окончании экстрагирования тигель вместе с пробой (без фильтра) высушивают при температуре $(40 \pm 5) ^\circ\text{C}$ до постоянной массы,

- затем охлаждают в эксикаторе с хлористым кальцием и взвешивают;

- после этого тигель снова закрывают фильтром, помещают в прибор Сокслета и экстрагируют ацетоном в течение 10 ч для удаления неотвержденной растворимой части связующего;

- после экстрагирования тигель вместе с пробой (без фильтра) помещают в сушильный шкаф, высушивают до постоянной массы, затем охлаждают в эксикаторе над хлористым кальцием и взвешивают.

В случае отсутствия гидрофобизирующих веществ экстрагирование петролейным эфиром не проводят.

Обработка результатов испытаний:

Содержание гидрофобизирующего вещества Z_1 , % вычисляют по формуле 4.10:

$$Z_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100\% \quad (4.10)$$

где m_1 - масса пробы до экстрагирования петролейным эфиром, г;
 m_2 - масса пробы после экстрагирования петролейным эфиром, г.

В случае отсутствия гидрофобизирующего вещества $m_1 = m_2$.

Содержание связующего вещества Z , % вычисляют по формуле 4.11:

$$Z = Z_o - Z_1 \quad (4.11)$$

где Z_o - содержание органических веществ, определенное в соответствии с разделом 4.11 на пробе.

Полноту поликонденсации связующего вещества C_p , % вычисляют по формуле 4.12:

$$C_p = 100 - \frac{m_2 - m_3}{m_2 \cdot Z} \cdot 10^4 \quad (4.12)$$

где m_3 - масса пробы после экстрагирования ацетоном, г.

4.13. Метод определения прочности на сжатие при 10 %-ной линейной деформации

Сущность метода заключается в измерении значения сжимающих усилий, вызывающих деформацию образца по толщине на 10 % при соответствующих условиях испытания.

Материалы и оборудование:

- машина испытательная, обеспечивающая скорость нагружения образца 5 - 10 мм/мин и позволяющая измерить нагрузку с погрешностью, не превышающей 1 % значения сжимающего усилия;
- индикатор часового типа по ГОСТ 577;
- линейка металлическая по ГОСТ 427;
- штангенциркуль по ГОСТ 166.

Методика проведения испытаний:

- выпиливают образец в форме параллелепипеда длиной и шириной (100 ± 1) мм и толщиной, равной толщине изделия. Предел допускаемой погрешности измерения длины и ширины образца линейкой $\pm 0,5$ мм, штангенциркулем $\pm 0,1$ мм;
- образец помещают в машину таким образом, чтобы сжимающее усилие действовало по вертикальной оси образца, и измеряют нагрузку, при которой он уплотняется (деформируется) на 10 %;
- измерение деформации образца производят индикатором часового типа. Отчет деформации образцов начинают при удельной нагрузке на образец (2000 ± 100) Па.

Обработка результатов испытаний:

Прочность на сжатие при 10 %-ной линейной деформации σ_{10} , МПа (кгс/см²) вычисляют по формуле 4.13:

$$\sigma_{10} = \frac{P}{l \cdot b} \quad (4.13)$$

где P – нагрузка при 10 %-ной линейной деформации, Н (кгс); l – длина образца, мм (см); b – ширина образца, мм (см).

Результат испытания округляют до 0,01 МПа.

4.14. Определение прочности на сжатие минераловатных и стекловатных плит в соответствии с ИСО 8145

Метод распространяется на теплоизоляционные плиты из минеральной и стеклянной ваты на синтетическом связующем при проведении сертификации.

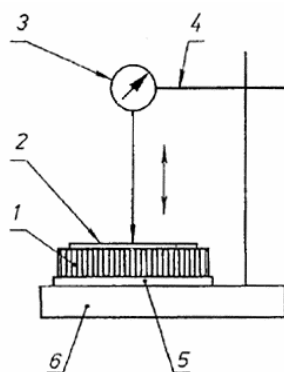
Сущность метода заключается в определении сопротивления плиты деформации сжатия при выдерживании ее под сжимающей нагрузкой при температуре, воздействию которой плита подвергается в процессе эксплуатации.

Материалы и оборудование:

- линейка металлическая по ГОСТ 427;
- прибор для определения толщины (рис. 4.14).;

Предел допускаемой погрешности измерения линейкой и прибором для измерения толщины $\pm 0,5$ мм.

- электрошкаф сушильный, обеспечивающий температуру нагрева до 80 °С и автоматическое регулирование температуры с пределом допускаемой погрешности ± 2 °С.



- 1 – образец;
- 2 – верхняя плоская пластина, имеющая форму круга;
- 3 – индикатор перемещения с круговой шкалой;
- 4 – жесткая рама;
- 5 – нижняя плоская пластина;
- 6 – плоская жесткая опорная плита

Рисунок 4.14 – Схема прибора для измерения толщины

Методика проведения испытаний:

- вырезают образец в форме параллелепипеда длиной и шириной (100 ± 1) мм и толщиной, равной толщине плиты. Допускается проведение испытания на образце большего размера, длина и ширина которого не превышает (300 ± 3) мм, а толщина равна толщине плиты;

- определяют первоначальную толщину d_1 образца под удельной нагрузкой 100 Па;

- прилагают к образцу равномерно распределенную удельную нагрузку $(20 \pm 0,3)$ кПа;

- выдерживают образец под этой нагрузкой при температуре (23 ± 2) °С и относительной влажности воздуха (60 ± 10) % в течение 24 ч;

- определяют толщину d_2 образца под этой удельной нагрузкой по истечении 24 ч;

- последующие 24 ч образец выдерживают под удельной нагрузкой $(20 \pm 0,3)$ кПа при температуре (80 ± 2) °С;

- через 24 ч определяют толщину d_3 образца под этой удельной нагрузкой.

Обработка результатов испытаний:

Вычисляют относительное изменение толщины d образца после его выдерживания в течение 24 ч при температуре 23 °С по формуле 4.14:

$$d = \frac{d_1 - d_2}{d_1} \cdot 100\% \quad (4.14)$$

Вычисляют относительное изменение толщины d' образца после его выдерживания в течение 24 ч при температуре 80 °С по формуле 4.15:

$$d' = \frac{d_2 - d_3}{d_2} \cdot 100\% \quad (4.15)$$

Выраженные в процентах результаты вычислений округляют до целого числа.

В протоколе испытания указывают значения относительного изменения толщины испытываемого образца при температурах 23 и 80 °С.

4.15. Метод определения предела прочности при сжатии

Сущность метода заключается в измерении значения сжимающих усилий, вызывающих разрушение образца при соответствующих условиях испытания.

Материалы и оборудование:

- машина испытательная, обеспечивающая скорость нагружения образца 5 - 10 мм/мин и позволяющая измерить значение нагрузки с погрешностью, не превышающей 1 % значения разрушающего усилия;
- штангенциркуль по ГОСТ 166.

Методика проведения испытаний:

- из изделия выпиливают образец в форме куба с размером ребра (100 ± 1) мм, если в нормативном документе на конкретный вид продукции не указаны другие размеры;
- длину и ширину верхнего и нижнего основания образца измеряют штангенциркулем по двум параллельным ребрам. Предел допускаемой погрешности измерения $\pm 0,1$ мм. Длиной и шириной образца считают среднее арифметическое значение четырех измерений длины и ширины верхнего и нижнего оснований;
- образец устанавливают в машину так, чтобы сжимающее усилие было направлено по вертикальной оси образца;
- разрушающей считают наибольшую нагрузку, отмеченную при испытании образца в момент его разрушения.

Обработка результатов испытаний:

Предел прочности при сжатии R в МПа (кгс/см^2) вычисляют по формуле 4.16:

$$R_{\text{сж}} = \frac{P}{l \cdot b} \quad (4.16)$$

где P – разрушающая нагрузка, Н (кгс); l – длина образца, мм (см); b – ширина образца, мм (см).

Результат испытания округляют до 0,01 МПа.

4.16. Метод определения предела прочности при изгибе

Сущность метода заключается в измерении значения усилия, вызывающего разрушение образца при его изгибе при соответствующих условиях испытания.

Материалы и оборудование:

- машина испытательная, обеспечивающая скорость нагружения образца центральной сосредоточенной нагрузкой 5 - 10 мм/мин и позволяющая снять отсчет разрушающей нагрузки с погрешностью не более 1 %;
- штангенциркуль по ГОСТ 166.

Методика проведения испытаний:

- из изделия выпиливают образец квадратного сечения с размером ребра (40 ± 2) мм и длиной (200 ± 3) мм. (при толщине изделия менее 40 мм из него выпиливают образец шириной (40 ± 2) мм и максимально возможной толщины) и подшлифовывают;
- ширину и толщину измеряют штангенциркулем в средней части двух противоположных граней образца. Предел допускаемой погрешности измерения $\pm 0,1$ мм. Шириной и толщиной образца считают среднее арифметическое значение двух измерений;
- образец укладывают на две цилиндрические опоры диаметром $(10 \pm 0,1)$ мм. Расстояние между осями опор должно быть (160 ± 1) мм;
- нагрузка на образец передаётся через валик диаметром $(10 \pm 0,1)$ мм, приложенный по всей ширине образца на равном расстоянии от опор и перемещающийся со скоростью 5 - 10 мм/мин.

Разрушающей считают наибольшую нагрузку, отмеченную при испытании образца в момент его разрушения.

Обработка результатов испытаний:

Предел прочности при изгибе $R_{изг}$ в МПа (кгс/см^2) вычисляют по формуле 4.17:

$$R_{изг} = \frac{3Pl}{2bh^2} \quad (4.17)$$

где P – разрушающая нагрузка, Н (кгс); l – расстояние между осями опор, мм (см); b – ширина образца, мм (см); h – высота образца, мм (см).

Результат испытания округляют до 0,01 МПа.

4.17. Метод определения разрушающей силы при испытании на изгиб минераловатных и стекловатных плит в соответствии с ИСО 8145

Метод распространяется на теплоизоляционные плиты из минераловатной и стеклянной ваты на синтетическом связующем при проведении сертификации.

Сущность метода заключается в измерении значения усилия, вызывающего разрушение образца при его изгибе при заданных условиях испытания.

Материалы и оборудование:

- машина испытательная, обеспечивающая скорость нагружения образца центральной сосредоточенной нагрузкой 9 – 11 мм/мин, позволяющая снять отсчет разрушающей нагрузки с погрешностью не более 2 %;

- линейка металлическая по ГОСТ 427 (предел допускаемой погрешности измерения ± 5 мм);
- штангенциркуль по ГОСТ 166 (предел допускаемой погрешности измерения $\pm 0,1$ мм);
- прибор для измерения толщины.

Методика проведения испытаний:

- вырезают образец в форме параллелепипеда длиной (300 ± 3) мм, шириной $(150 \pm 1,5)$ мм и толщиной, равной толщине плиты (образец вырезают в произвольном месте плиты, но не ближе 50 мм от его края);
- измеряют металлической линейкой длину и ширину образца;
- толщину измеряют прибором для измерения толщины в мм, результаты измерений округляют до ближайшего целого числа;
- образец укладывают на две цилиндрические опоры диаметром (30 ± 5) мм. и длиной не менее 150 мм (если образец имеет обкладку, то его кладут на опоры обкладкой вверх). Расстояние между осями опор должно быть (250 ± 1) мм. (при испытании образцов, вырезанных из плит, толщина которых более 50 мм, расстояние между осями опор должно быть равно толщине плиты, умноженной на пять);
- при помощи нагружающего устройства прикладывают к образцу силу со скоростью 9 – 11 мм/мин.

Обработка результатов испытаний:

Разрушающей считают наибольшую нагрузку, отмеченную при испытании образца в момент его разрушения.

Выраженный в ньютонах результат измерения разрушающей нагрузки округляют до ближайшего целого числа.

4.18. Метод определения предела прочности при растяжении

Сущность метода заключается в измерении значения растягивающих усилий, вызывающих разрушение образца материала или изделия при заданных условиях испытания.

Материалы и оборудование:

- машина разрывная, обеспечивающая растяжение образца со скоростью движения активного захвата (20 ± 1) мм/мин и позволяющая измерить значение разрушающего усилия с погрешностью не более 1 %;
- зажимы игольчатые (рис. 4.15);
- линейка металлическая по ГОСТ 427;
- толщиномер.

Методика проведения испытаний:

- вырезают образец в форме параллелепипеда длиной (280 ± 3) мм, шириной (70 ± 2) мм и толщиной, равной толщине материала или изделия;
- измеряют линейкой с двух сторон посередине его длины и на расстоянии (50 ± 5) мм от каждого торца ширину образца (предел допускаемой

погрешности измерения $\pm 0,5$ мм). Шириной образца считают среднее арифметическое значение шести измерений;

– толщиной образца, вырезанного из материала или изделия с плоской поверхностью, считают толщину материала (изделия), из которого он вырезан, измеряют прибором для измерения толщины в мм;

– образец с обоих концов закрепляют в игольчатые зажимы (рис. 4.15) так, чтобы расстояние между зажимами было (200 ± 1) мм и помещают в прибор;

– растягивающее усилие передают на образец через игольчатые зажимы при скорости движения активного захвата (20 ± 1) мм/мин.

Разрушающим считают наибольшее усилие, отмеченное при испытании образца в момент его разрушения. При разрушении образца в зажимах или около них результат считают недействительным.

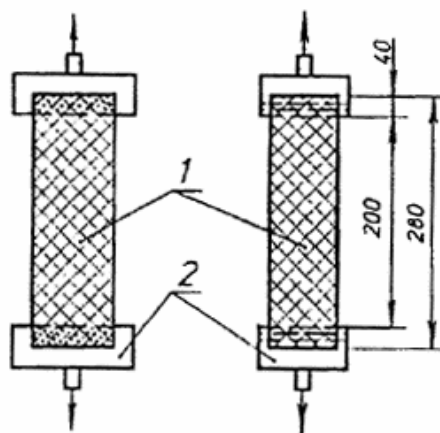


Рисунок 4.15 – Схема закрепления образца в игольчатых зажимах

1 – образец; 2 – игольчатый зажим

Обработка результатов испытаний:

Предел прочности при растяжении $R_{\text{раст}}$ в МПа (кгс/см²) вычисляют по формуле 4.18:

$$R_{\text{раст}} = \frac{P}{bh} \quad (4.18)$$

где P – разрушающая нагрузка, Н (кгс); b – ширина образца, мм (см); h – толщина образца, мм (см).

Результат испытания округляют до 0,01 МПа.

4.19. Метод определения предела прочности на отрыв слоев минераловатных и стекловатных плит в соответствии с ИСО 8145

При проведении сертификации минераловатных и стекловатных матов и плит в соответствии с требованиями ИСО прочность матов при растяжении следует определять как прочность плит на отрыв слоев.

Метод распространяется на теплоизоляционные плиты из минеральной и стеклянной ваты на синтетическом связующем.

Сущность метода заключается в измерении растягивающего усилия, вызывающего разрушение образца при заданных условиях испытания.

Материалы и оборудование:

- машина разрывная, обеспечивающая растяжение образца со скоростью 9 – 11 мм/мин и позволяющая измерить значение разрушающего усилия с погрешностью не более 1 %;
- линейка металлическая по ГОСТ 427 (предел допускаемой погрешности измерения линейкой $\pm 0,5$ мм);
- прибор для измерения толщины (предел допускаемой погрешности измерения $\pm 0,5$ мм);
- мастика битумная по ГОСТ 2889;
- две плоских жестких пластины длиной и шириной (200 ± 1) мм.

Методика проведения испытаний:

- вырезают образец в форме параллелепипеда длиной и шириной (200 ± 1) мм и толщиной, равной толщине плиты. Образец вырезают в произвольном месте плиты, но не ближе 50 мм от ее края;
- при помощи битумной мастики приклеивают к образцу две жесткие плоские пластины (рис. 4.16) (при приклеивании прикладывают давление, величина которого не больше, чем давление, достаточное для хорошего контакта поверхностей пластин и образца);

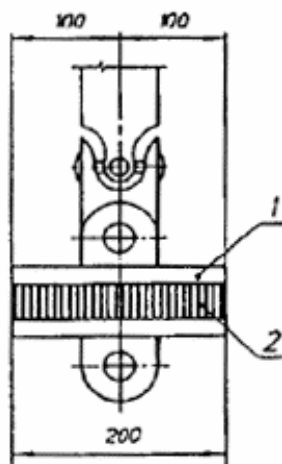


Рисунок 4.16 – Определение предела прочности на отрыв слоев

1 – плоская жесткая пластина; 2 – образец

- образец помещают в разрывную машину;
- прикладывают к образцу растягивающее усилие при скорости движения активного захвата 9 – 11 мм/мин.

Разрушающей считают наибольшую нагрузку, отмеченную при испытании образца в момент его разрушения.

Если разрушение образца произошло по приклеивающему слою, то результаты испытания этого образца аннулируют.

Обработка результатов испытаний:

Предел прочности на отрыв слоев $\sigma_{отр}$ МПа (кгс/см²) вычисляют по формуле 4.19:

$$\sigma_{отр} = \frac{P}{lh} \quad (4.19)$$

где P – разрушающая нагрузка, Н (кгс); l – длина образца, мм (см); b – ширина образца, мм (см).

Результат испытания округляют до 0,01 МПа.

4.20. Метод определения сжимаемости и упругости

Сущность метода заключается в измерении толщины образца изделия при воздействии сжимающей удельной нагрузки в определенной последовательности.

Материалы и оборудование:

– прибор для определения сжимаемости и упругости (рис. 4.17) по технической документации.

Методика проведения испытаний:

- изготавливают образец, имеющий в плане форму квадрата со стороной (100 ± 1) мм, толщиной, равной толщине изделия;
- в исходном положении подвижные части прибора (рис. 4.17) зафиксированы в верхнем положении;

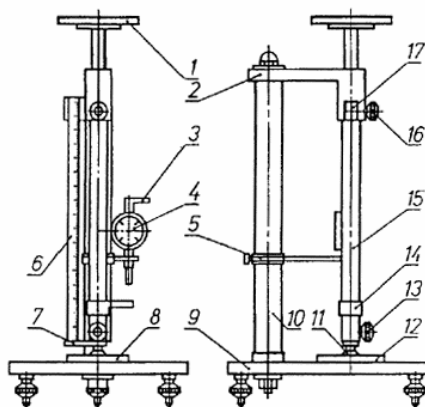


Рисунок 4.17 – Прибор для определения сжимаемости и упругости:

1 – столик; 2 – направляющая; 3 – фиксатор; 4 – индикатор; 5 – держатель;
6 – шкала; 7 – кронштейн; 8 – пластина; 9 – основание; 10 – опора; 11 – палец;
12 – держатель; 13 – винт; 14 – опора; 15 – шток; 16 – винт; 17 – кронштейн

– испытуемый образец устанавливают на основание 9, отпустив винт 16, пластину 8 приближают к поверхности образца, винт 16 снова зажимают. Далее отпускают винт 13 и, придерживая рукой кронштейн 7, опускают на образец пластину 8, создавая удельную нагрузку $(500 \pm 7,5)$ Па, и выдерживают при данной нагрузке 5 мин;

– зажимают винт 13, по миллиметровой шкале отсчитывают первоначальную толщину образца (h);

– при помощи держателя 5 индикатор 4 подводят к опоре 14, устанавливают на его шкале показание 10 мм и арретируют ее измерительную ось фиксатором 3;

- освобождают винт 16 и, придерживая рукой кронштейн 7, нагружают образец удельной нагрузкой (2000 ± 30) Па и выдерживают при данной нагрузке 5 мин;
- винт 16 зажимают, фиксатор 3 опускают и по шкале индикатора отсчитывают изменение толщины Δh (если Δh превышает 10 мм, толщину образца после деформации h_1 под удельной нагрузкой (2000 ± 0) Па отсчитывают по миллиметровой шкале 6);
- подняв измерительную ось индикатора и зафиксировав ее индикатором 3, освобождают винт 16, поднимают движущуюся часть прибора вместе с пластиной 8 и вновь закрепляют винтом 16;
- через 15 мин после снятия нагрузки на поверхность образца повторно опускают пластину 8, выдерживают в таком положении 5 мин, (если в нормативных документах на изделия конкретного вида не указано другое время выдержки), и затем закрепляют ее винтом 13;
- отжав фиксатор 3, дают измерительной оси индикатора опуститься на пластину 8 и по шкале индикатора отсчитывают изменение толщины Δh_1 . (если Δh_1 превышает 10 мм, толщину образца после снятия нагрузки (2000 ± 30) Па под нагрузкой $(500 \pm 7,5)$ Па отсчитывают по миллиметровой шкале 6).

Обработка результатов испытаний:

Сжимаемость $C_{ж}$ в процентах вычисляют по формуле 4.20:

$$C_{ж} = \frac{h - h_1}{h} \cdot 100\% \quad (4.20)$$

где h – толщина образца под удельной нагрузкой $(500 \pm 7,5)$ Па, мм; h_1 – толщина образца после деформации под удельной нагрузкой (2000 ± 30) Па, мм.

Упругость U в процентах вычисляют по формуле 4.21:

$$U = \frac{h_2}{h} \cdot 100\% \quad (4.21)$$

где h_2 – толщина образца после снятия нагрузки (2000 ± 30) Па, мм.

Результат определений округляют до 0,1 %.

4.21. Метод определения гибкости

Материалы и оборудование:

- устройство для определения гибкости теплоизоляционных материалов (рис. 4.18) по технической документации.

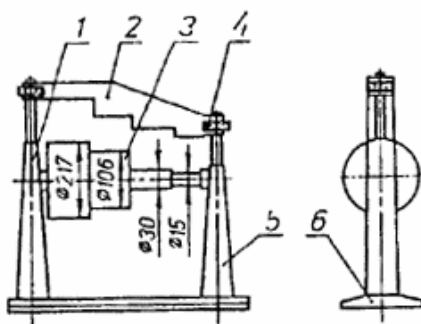


Рисунок 4.18 – Устройство для определения гибкости:

1 – опора; 2 – прижимная планка; 3 – цилиндр; 4 – гайка; 5 – опора; 6 – основание

Методика проведения испытаний:

- вырезают образец шириной (100 ± 5) мм и толщиной, равной толщине изделия. Длина образца должна быть не менее длины окружности цилиндра, на котором будут проводиться испытания. От шнурового материала отрезают образец длиной (300 ± 5) мм;
- испытание образца проводят на цилиндре, диаметр которого указан в нормативном документе на продукцию конкретного вида;
- образец плоского материала или изделия берут за два края по длине и прикладывают к цилиндру таким образом, чтобы середина длины образца касалась образующей цилиндра;
- одновременно оба края образца изгибают так, чтобы он касался всей поверхности цилиндра;
- образец шнура берут за два края по длине и прикладывают к цилиндру таким образом, чтобы получился полный виток.

Обработка результатов испытаний:

Гибкость образца оценивают визуально по разрывам и расслоениям на его поверхности.

4.22. Метод определения среднего диаметра волокон минеральной и стеклянной ваты

Метод не распространяется на вату, состоящую преимущественно из волокон диаметром до 3 мкм.

Материалы и оборудование:

- микрометр окулярный винтовой МОВ1-15 по технической документации или окуляр 8 со шкалой;
- объект-микрометр ОМП по технической документации;
- препаратоводитель СТ-11;
- объектив $60 \pm 0,85$ или иммерсионный объектив $90 \pm 1,25$;
- микроскоп Биолам (Р) или Полам (Л или Р) либо другой, приспособленный к работе при использовании всех вышеперечисленных приборов;
- осветитель ОИ-35 или ОИ-19;
- микроскоп бинокулярный БМ-51-2 либо лупа бинокулярная БД-2;
- стекла покровные по ГОСТ 6672;
- стекла предметные по ГОСТ 9284;
- электрошкаф сушильный, обеспечивающий температуру нагрева до 105°C и автоматическое регулирование температуры с пределом допускаемой погрешности $\pm 5^{\circ}\text{C}$;
- пинцет, ножницы, иголка;
- 5 %-ный раствор в спирте этиловом ректификате по ГОСТ 18300 бальзама кедрового сибирского по технической документации либо бальзама пихтового натурального по ГОСТ 2290, либо канифоли сосновой по ГОСТ 19113;
- глицерин по ГОСТ 6259.

Методика проведения испытаний:

- из 10 пучков волокон, отобранных из различных мест пробы материала, готовят десять препаратов. Из каждого отобранного пучка ваты на отдельном предметном стекле готовят один препарат, содержащий не менее 100 волокон;
- пучок волокон берут пинцетом и ножницами обрезают один из его концов на расстоянии около 5 мм от пинцета;
- делают второй срез ближе к пинцету на расстоянии 2 – 3 мм от первого таким образом, чтобы отрезанные кусочки волокон расположились посередине стекла;
- рядом с ними на стекло наносят каплю 5 %-ного раствора кедрового либо пихтового бальзама, либо канифоли в этиловом спирте;
- наблюдая через бинокулярный микроскоп или лупу, отрезанные кусочки волокон иголкой переносят в каплю и равномерно одним слоем распределяют на предметном стекле;
- препараты выдерживают в течение 30 – 40 мин в сушильном шкафу при температуре 70 – 105 °С в зависимости от применяемого раствора;
- после этого препарат охлаждают в помещении;
- остывшие препараты поочередно устанавливают в препаратодержатель столика микроскопа:
 - а) при работе с объективом $60 \pm 0,85$ на середину препарата с приклеенными волокнами наносят 2 – 3 капли глицерина и сверху плотно прикладывают покровное стекло. Излишек глицерина, выходящий за пределы покровного стекла, удаляют фильтровальной бумагой, добиваясь полного прилипания покровного стекла к препарату;
 - б) при работе с иммерсионным объективом $90 \pm 1,25$ измерения проводят без покровного стекла, осторожно погружая объектив прямо в каплю глицерина. Затем включают освещение и движением ручек препаратодержателя добиваются совпадения центра препарата с оптической осью микроскопа. Измерения начинают с волокна, расположенного наиболее близко к полю зрения. Движением одной ручки препаратодержателя волокно переводят в центр поля зрения. Вращением столика микроскопа ориентируют волокно в поле зрения вертикально;
 - возвращают столик микроскопа в исходное положение;
 - движением одной произвольно выбранной ручки препаратодержателя передвигают препарат до появления второго волокна в центре поля зрения и повторяют все вышеперечисленные приемы измерения;
 - движением той же ручки препаратодержателя добиваются появления в поле зрения последующих волокон, которые все подряд без пропуска измеряют в точке пересечения их с центром зрения независимо от того, попадают ли в эту точку искривленные, утолщенные или утонченные участки волокон. В одном препарате измеряют 10 волокон.

Обработка результатов испытаний:

Средний диаметр D_c в микрометрах рассчитывают по формуле 4.22:

$$D_c = q \cdot Ц \quad (4.22)$$

где q – средний диаметр волокон в делениях окулярного микрометра; C – цена деления окулярного микрометра, мкм.

Средний диаметр волокон материала вычисляют как среднее арифметическое значение измерений 100 волокон и округляют до 1 мкм.

4.23. Определение содержания неволокнистых включений

4.23.1. Метод определения с помощью устройства (сухой метод)

Сухой метод определения содержания неволокнистых включений в минеральной вате заключается в измельчении пробы минеральной ваты в устройстве, приведенном на рис. 4.19 и последующем просеивании измельченной пробы через сито.

Материалы и оборудование:

- устройство для определения содержания неволокнистых включений;
- весы с пределом допускаемой погрешности $\pm 0,1$ г;
- камерная электропечь, обеспечивающая температуру нагрева до $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ и автоматическое регулирование температуры с пределом допускаемой погрешности $\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- выпарительная чашка вместимостью 250 мл по ГОСТ 9147;
- сито с сеткой № 025 по ГОСТ 6613;
- мехи.

Методика проведения испытаний:

- отбирают пробы для испытания массой (50 ± 1) г. и взвешивают с погрешностью $\pm 0,1$ г;
- помещают в выпарительную чашку и прокалывают в электропечи при температуре $(600 \pm 10)\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 20 мин;
- прокаленную пробу помещают в загрузочное отверстие устройства и включают электродвигатель на 15 мин (120 об/мин);
- измельченные волокна удаляют из приемника устройства мехами,
- неволокнистые включения выгружают и просеивают через сито с сеткой № 025;
- остаток на сите взвешивают с погрешностью не более $\pm 0,1$ г.

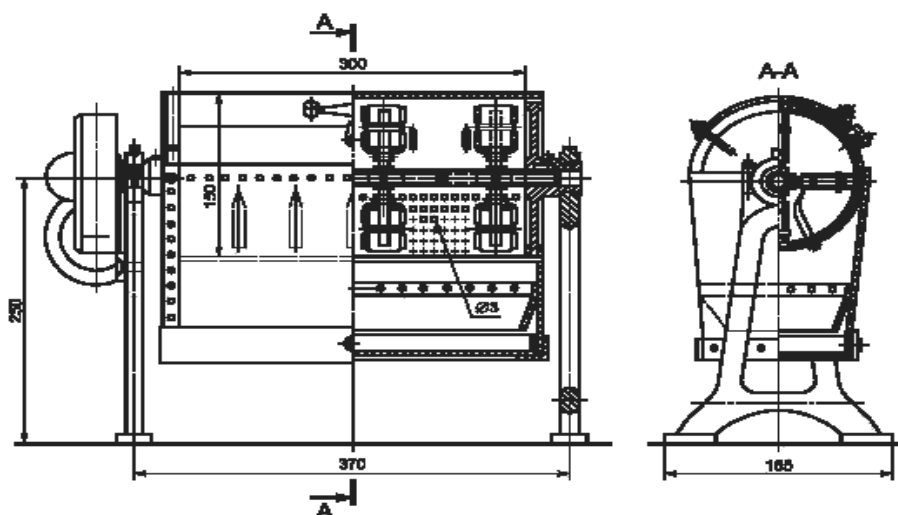


Рисунок 4.19 – Устройство для определения содержания неволокнистых включений в минеральной вате

Обработка результатов испытаний:

Содержание неволокнистых включений в процентах определяют как удвоенную массу остатка на сите.

Содержание неволокнистых включений в товарной вате определяют и записывают отдельно для каждой пробы.

Содержание неволокнистых включений в вате, применяемой для изготовления изделий, вычисляют как среднеарифметическое значение результатов испытания двух проб.

4.23.2. Суспензионный («мокрый») метод определения

Суспензионный («мокрый») метод определения содержания неволокнистых включений в минеральной вате заключается в измельчении пробы минеральной ваты в фарфоровой ступке с водой и последующем пропускании суспензии через сито.

«Мокрый» метод применяют для определения содержания неволокнистых включений в вате марки ВМ-35.

Материалы и оборудование:

- весы с пределом допускаемой погрешности $\pm 0,1$ г;
- камерная электропечь, обеспечивающая температуру нагрева до $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ и автоматическое регулирование температуры с пределом допускаемой погрешности $\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- сушильный электрошкаф, обеспечивающий температуру нагрева до $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ и автоматическое регулирование температуры с пределом допускаемой погрешности $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- лабораторная стеклянная посуда (чаша, стакан высотой 150 мм. стеклянная палочка с резиновым наконечником);
- фарфоровая ступка;
- пестик с резиновым наконечником;
- пипетка;

- сито с размером ячейки не более 1 мм;
- сито с сеткой N9 025 по ГОСТ 6613.

Методика проведения испытаний:

- из ваты, отбирают пробы массой не менее 5 г каждая;
- взвешенную пробу прокаливают в электропечи при температуре $(600 \pm 10) ^\circ\text{C}$ в течение 30 мин;
- растирают в фарфоровой ступке под водой с помощью пестика с резиновым наконечником;
- суспензию пропускают через сито с размером ячейки не более 1 мм в стеклянную чашу;
- остаток на сите вновь растирают в фарфоровой ступке. Вся проба должна пройти через сито;
- полученную суспензию сливают в стакан высотой 150 мм с двумя метками, расположенными на расстоянии 100 мм друг от друга;
- полученную суспензию разбавляют водой до верхней метки стакана, перемешивают стеклянной палочкой с резиновым наконечником и через 10 с сливают столб жидкости между двумя метками. Операцию повторяют до получения прозрачного столба жидкости между метками, которую вновь сливают до первой от дна метки;
- оставшуюся жидкость убирают при помощи пипетки;
- неволокнистые включения, оставшиеся на дне стакана, сушат в сушильном шкафу при температуре $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ не менее 40 мин;
- затем стакан с неволокнистыми включениями охлаждают;
- неволокнистые включения просеивают через сито с размером ячейки 0,25 мм;
- статок на сите взвешивают с погрешностью не более $\pm 0,1$ г.

Обработка результатов испытаний:

Содержание неволокнистых включений B , %. вычисляют по формуле 4.23:

$$B = \frac{M_1}{M_2} \cdot 100\% \quad (4.23)$$

где M_1 – масса неволокнистых включений, г; M_2 – масса первоначальной пробы, г.

Содержание неволокнистых включений в товарной вате определяют и записывают отдельно для каждой пробы.

Содержание неволокнистых включений в вате, применяемой для изготовления изделий, вычисляют как среднеарифметическое значение результатов испытания двух проб, отобранных из объединенной пробы.

4.24. Определение теплопроводности

Теплопроводность при температуре 10 °C, 25 °C и 125 °C определяют по ГОСТ 7076 «Материалы и изделия строительные. Метод определения

Теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме».

Сущность метода заключается в создании стационарного теплового потока, проходящего через плоский образец определенной толщины и направленного перпендикулярно к лицевым (наибольшим) граням образца, измерении плотности этого теплового потока, температуры противоположных лицевых граней и толщины образца.

Если в стандарте на конкретный материал или изделие не указано число образцов, подлежащих испытанию теплопроводность или термическое сопротивление определяют на пяти образцах.

Температура и относительная влажность воздуха помещения, в котором проводят испытания, должны быть соответственно $(22 \pm 5)^\circ\text{C}$ и $(50 \pm 10)\%$.

Материалы и оборудование:

- прибор для измерения эффективной теплопроводности и термического сопротивления;
- прибор для определения плотности волокнистых материалов по ГОСТ 17177;
- прибор для определения толщины плоских волокнистых изделий по ГОСТ 17177;
- электрошкаф сушильный, верхний предел нагрева которого не менее 110°C предел допустимой погрешности задания и автоматического регулирования температуры – 5°C ;
- штангенциркуль по ГОСТ 166;
- весы лабораторные общего назначения по ГОСТ 24104.

Методика проведения испытаний:

– изготавливают образец в виде прямоугольного параллелепипеда, наибольшие (лицевые) грани которого имеют форму квадрата со стороной, равной стороне рабочих поверхностей плит прибора. Толщина испытываемого образца должна быть меньше длины ребра лицевой грани или диаметра не менее чем в пять раз;

– образец помещают в прибор;

– устанавливают заданные значения температур рабочих поверхностей плит прибора и последовательно через каждые 300 с проводят измерения:

– сигналов тепломера e_u и датчиков температур лицевых граней образца, если плотность теплового потока через испытываемый образец измеряют при помощи тепломера;

– мощности, подаваемой на нагреватель зоны измерения горячей плиты прибора, и сигналов датчиков температур лицевых граней образца, если плотность теплового потока через испытываемый образец определяют путем измерения электрической мощности, подаваемой на нагреватель зоны измерения горячей плиты прибора.

Тепловой поток через испытываемый образец считают установившимся (стационарным), если значения термического сопротивления образца, вычисленные по результатам пяти последовательных измерений сигналов

датчиков температур и плотности теплового потока, отличаются друг от друга менее чем на 1 %, при этом эти величины не возрастают и не убывают монотонно.

– после достижения стационарного теплового режима измеряют толщину помещенного в прибор образца d_u штангенциркулем с погрешностью не более 0,5 %;

– после окончания испытания определяют массу образца M_3 .

Обработка результатов испытаний:

Вычисляют относительное изменение массы образца вследствие его сушки m_r и в процессе испытания m_w и плотность образца ρ_u по формулам 4.24 – 4.26:

$$m_r = \frac{(M_1 - M_2)}{M_2} \quad (4.24)$$

$$m_w = \frac{(M_2 - M_3)}{M_3} \quad (4.25)$$

$$\rho_u = \frac{M_3}{V_u} \quad (4.26)$$

Объем испытываемого образца V_u вычисляют по результатам измерения его длины и ширины после окончания испытания, а толщины – в процессе испытания.

Вычисляют разность температур лицевых граней ΔT_u и среднюю температуру испытываемого образца T_{mu} по формулам 4.27, 4.28:

$$\Delta T_u = T_{1u} - T_{2u} \quad (4.27)$$

$$T_{mu} = \frac{T_{1u} - T_{2u}}{2} \quad (4.28)$$

При вычислении теплофизических показателей образца и плотности стационарного теплового потока в расчетные формулы подставляют средние арифметические значения результатов пяти измерений сигналов датчиков разности температур и сигнала тепломера или электрической мощности, выполненных после установления стационарного теплового потока через испытываемый образец.

При проведении испытания на приборе, собранном по асимметричной схеме, термическое сопротивление образца R_u вычисляют по формуле 4.29:

$$R_u = \frac{\Delta T_u}{q_u} - 2R_k \quad (4.29)$$

где R_k принимают равным $0,005 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$, а для теплоизоляционных материалов и изделий – нулю.

Эффективную теплопроводность материала образца λ_{effu} вычисляют по формуле 4.30:

$$\lambda_{effu} = \frac{d_u}{\frac{\Delta T_u}{q_u} - 2R_k} \quad (4.30)$$

Термическое сопротивление R_u и эффективную теплопроводность λ_{effu} образца насыпного материала вычисляют по формулам 4.31, 4.32:

$$R_u = \frac{\Delta R_u}{q_u} - 2R_L \quad (4.31)$$

$$\lambda_{effu} = \frac{d_u}{\frac{\Delta T_u}{q_u} - 2R_L} \quad (4.32)$$

Плотность стационарного теплового потока q_u через образец, испытываемый на приборе, собранном по асимметричной и симметричной схемам, вычисляют соответственно по формулам 4.33, 4.34:

$$q_u = f_u \cdot e_u \quad (4.33)$$

$$q_u = \frac{f'_u e'_u + f''_u e''_u}{2} \quad (4.34)$$

При проведении испытания на приборе с горячей охранной зоной, в котором плотность теплового потока определяют путем измерения электрической мощности, подаваемой на нагреватель зоны измерения горячей плиты прибора, термическое сопротивление, эффективную теплопроводность и плотность стационарного теплового потока через образец вычисляют по формулам 4.35 – 4.37:

$$R_u = \frac{A \cdot \Delta T_u}{\Phi} - 2R_k \quad (4.35)$$

$$\lambda_{effu} = \frac{d_u}{\frac{A \cdot \Delta T_u}{\Phi} - 2R_k} \quad (4.36)$$

$$q_u = \frac{\Phi}{A} \quad (4.37)$$

При испытании насыпных материалов в формулы вместо R_k подставляют значение R_L .

За результат испытания принимают среднеарифметические значения термического сопротивления и эффективной теплопроводности всех испытанных образцов.

4.25. Метод ускоренного определения модуля кислотности минеральной ваты

Сущность метода заключается в определении количества уксусной (или соляной) кислоты, израсходованной на растворение единицы массы пробы

минеральной ваты, и установлении по калибровочному графику модуля кислотности (M_k).

Калибровочные графики строят для каждого предприятия-изготовителя в зависимости от применяемого сырья (рис. 4.20, 4.21).

Материалы и оборудование:

- чашка выпарительная вместимостью 50 мл по ГОСТ 9147;
- пестик и ступка фарфоровые по ГОСТ 9147;
- электропечь камерная, обеспечивающая температуру нагрева до 600 °С и автоматическое регулирование температуры с пределом допускаемой погрешности ± 10 °С;
- часы песочные;
- сетка № 005 по ГОСТ 6613;
- весы лабораторные по ГОСТ 24104;
- стакан лабораторный вместимостью 100 мл по ГОСТ 25336;
- колба коническая вместимостью 100 мл по ГОСТ 25336;
- бюретка вместимостью 50 мл, пипетка вместимостью 10 и 20 мл;
- мешалка электромагнитная;
- бумага фильтровальная (белая лента) по ГОСТ 12026;
- кислота уксусная по ГОСТ 61, 1Н раствор, кислота соляная, 1Н раствор;
- натр едкий по ГОСТ 11078, 0,2Н раствор;
- калия гидрат окиси (калий едкий);
- фенолфталеин (индикатор), 0,1 %-ный раствор;
- метиловый красный (индикатор), 0,1 %-ный раствор.

Методика проведения испытаний:

- пробу минеральной ваты массой ($5 \pm 0,5$) г помещают в выпарительную чашку и обжигают в камерной электропечи при температуре (600 ± 10) °С в течение 15-20 мин для удаления замасливателя или связующего;
- охлаждают до температуры (22 ± 5) °С, растирают в фарфоровой ступке до прохождения через сетку № 005.

а) Определение количества уксусной кислоты, израсходованной на растворение пробы минеральной ваты при водостойкости более 4:

- порошок минеральной ваты массой ($0,5 \pm 0,01$) г, подготовленный к анализу, взвешивают на лабораторных весах с погрешностью $\pm 0,0002$ г;
- помещают в стакан вместимостью 100 мл, заливают при помощи пипетки 20 мл раствора уксусной кислоты и перемешивают электромагнитной мешалкой в течение 15 мин. до полного растворения порошка;
- полученный раствор фильтруют через фильтровальную бумагу в сухой стакан;
- 10 мл фильтрата переносят при помощи пипетки в коническую колбу вместимостью 100 мл, титруют раствором едкого натра или калия в присутствии фенолфталеина до появления розовой окраски и определяют объем раствора щелочи V_1 , израсходованный на титрование фильтрата;
- в другую колбу вливают 10 мл раствора уксусной кислоты, титруют раствором щелочи в присутствии фенолфталеина также до появления розовой

окраски и определяют объем раствора щелочи V_2 , израсходованный на титрование уксусной кислоты.

б) Определение количества соляной кислоты, израсходованной на растворение пробы минеральной ваты при водостойкости менее 4:

– приготовление фильтрата, титрование и определение объема раствора щелочи, израсходованного на титрование фильтрата и соляной кислоты, осуществляют аналогично пункту (а);

– время перемешивания электромагнитной мешалкой должно быть не менее 20 мин, а титрование фильтрата соляной кислотой проводят в присутствии индикатора метилового красного до появления желтой окраски.

Обработка результатов испытаний:

Количество уксусной или соляной кислоты Z в грамм-эквивалентах, израсходованное на растворение 1 г пробы, вычисляют по формуле 4.38:

$$Z = \frac{2C \cdot (V_2 - V_1)}{m \cdot 1000} \quad (4.38)$$

где C – концентрация раствора щелочи, г-экв./л; V_2 – объем 0,2Н раствора щелочи, израсходованный на титрование 1Н раствора уксусной или соляной кислоты, мл; V_1 – объем 0,2Н раствора щелочи, израсходованный на титрование фильтрата, мл; m – масса пробы, г.

Значение Z принимают как среднее арифметическое трех определений.

Разброс в значениях Z при параллельных определениях не должен превышать $\pm 0,001$.

M_k минеральной ваты находят в координатах: модуль кислотности – количество уксусной или соляной кислоты, израсходованное на растворение единицы массы пробы минеральной ваты.

Построение калибровочного графика

Для построения калибровочного графика из одних и тех же компонентов шихты, взятых в различных соотношениях (10 - 15 вариантов) с таким расчетом, чтобы минимальный M_k шихты отличался от максимального не менее чем на 0,4 - 0,5, получают минеральную вату.

Для каждой пробы минеральной ваты рассчитывают M_k на основании результатов химического анализа по ГОСТ 18866, а количество уксусной или соляной кислоты Z определяют в соответствии с (а) и (б).

На основании полученных данных (таблица 4.1, 4.2) строят калибровочный график в координатах (M_k ; $Z \cdot 10^{-3}$). Примеры построения калибровочных графиков приведены на рис. 4.20, 4.21.

Таблица 4.1 – Данные для построения калибровочного графика минеральной ваты с водостойкостью более 4

$Z \cdot 10^{-3}$	11,22	12,10	12,30	12,50	12,74	13,07	13,59	13,70	13,91
M_k	1,23	1,14	1,12	1,10	1,08	1,04	1,00	0,97	0,98

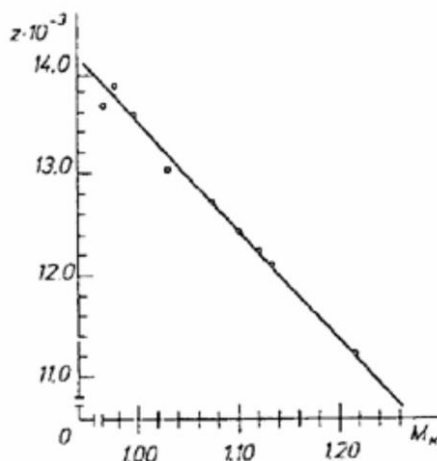


Рисунок 4.20 – Пример построения калибровочного графика минеральной ваты с водостойкостью более 4, сырье: доменные шлаки, кирпичный бой

Таблица 4.2 – Данные для построения калибровочного графика минеральной ваты с водостойкостью менее 4

$z \cdot 10^{-3}$	3,40	5,34	10,24	11,58	13,28	14,12
M_k	2,77	2,40	2,02	1,80	1,59	1,38

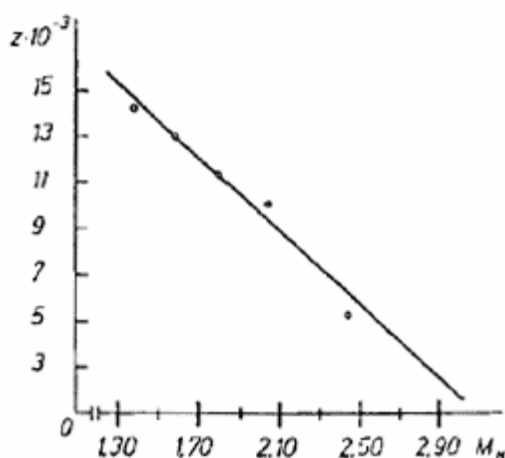


Рисунок 4.21 – Пример построения калибровочного графика минеральной ваты с водостойкостью менее 4, сырье: базальт, известняк

Список литературы

1. Бобров. Ю.Л. Долговечность теплоизоляционных минераловатных материалов [Текст] / Ю.Л. Бобров. – М. : Стройиздат, 1987. – 160 с.
2. Бобров. Ю.Л. Теплоизоляционные материалы и конструкции [Текст]: учебник / Ю.П. Бобров, Е.Г. Овчаренко, Б.М. Шойхет, Е.Ю. Петухова. – М.: ИНФРА-М, 2003. – 268 с.
3. Вельсовский. В.Н. Минераловатные утеплители [Текст] / В.Н. Вельсовский [и др.]; – М.: Государственное изд-во литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1963. – 200 с.
4. Горлов Ю.П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий [Текст]: учеб, для вузов / Ю.П. Горлов. – М.: Высшая школа, 1989. – 383 с.
5. Горяйнов. К.Э. Минеральная вата и изделия из нее [Текст] / К.Э. Горяйнов. – М.: Изд-во Министерства строительства предприятий машиностроения, 1950. – 175 с.
6. Горяйнов. К.Э. Технология минеральных тепло-изоляционных материалов и легких бетонов [Текст] / К.Э. Горяйнов [и др.]; под ред. П.П. Будникова. – М.: изд-во Литературы по строительству, 1966. – 430 с.
7. Горяйнов. К.Э. Технология минеральных тепло-изоляционных материалов и легких бетонов [Текст] / К.Э. Горяйнов, К.Н. Дубенецкий, С.Г. Васильков, Л.Н. Попов. – М.: Стройиздат, 1976. – 531 с.
8. Горяйнов. К.Э. Технология теплоизоляционных материалов и изделий [Текст] / К.Э. Горяйнов, С.Н. Горяйнова. – М.: Стройиздат, 1982. – 375 с.
9. ГОСТ 16381-2022. Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Классификация. Общие технические условия. [Текст]. Введ. 2023-07-01. Взамен ГОСТ 16381-77. – М.: Российский институт стандартизации, 2022. – 10 с.
10. ГОСТ 17177- 94. Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний. [Текст]. Введ. 1996-04-01. Взамен ГОСТ 17177-87. Переиздание 2001-12.01. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 40 с.
11. ГОСТ 27751–2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. [Текст]. Введ. 2015-06-01. Впервые. Переиздание 2019-11.01. – М.: Стандартиформ, 2019. – 16 с.
12. ГОСТ 31913-2022. Материалы и изделия теплоизоляционные. Термины и определения. [Текст]. Введ. 2023-07-01. Взамен ГОСТ 31913-2011. – М.: Российский институт стандартов, 2022. – 24 с.
13. ГОСТ 4640 – 2011. Вата минеральная. Технические условия. [Текст]. Введ. 2012-07-01. Взамен ГОСТ 4640-93. – М.: Стандартиформ, 2012. –12 с.
14. ГОСТ 7076-99. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при

стационарном тепловом режиме. [Текст]. Введ. 2000-04.01. Взамен ГОСТ 7076-87. Переиздание 2023-07.01. – М.: Госстрой России, 2000. – 23 с.

15. ГОСТ 9573-2012. Плиты из минеральной ваты на синтетическом связующем теплоизоляционные. Технические условия. [Текст]. Введ. 2013-03-21. Взамен ГОСТ 9573-96. Переиздание 2021-01.01. – М.: Стандартинформ, 2019. – 10 с.

16. Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю) (утверждены Решением Комиссии Таможенного союза от 28 мая 2010 г. № 299 «О применении санитарных мер в Евразийском экономическом союзе»).

17. Жилин. А.И. Минеральная вата [Текст] / под ред. В.А. Китайцева. – М.: Государственное изд-во литературы по строительным материалам, 1953. – 235 с.

18. Жилин. А.И. Шлаковая вата. Свойства, получение и применение [Текст] / А.И. Жилин, Е.К. Гаврилов. – М.: Стройиздат, 1946, – 132 с.

19. Кальянов Н.Н. Заводы минеральной ваты [Текст] / Н.Н. Кальянов, Д.А. Черков, С.И. Лукашев.-М.: Государственное изд-во литературы по строительным материалам, 1962. – 209 с.

20. Майзель И.Л. Технология теплоизоляционных материалов [Текст]: учебник / И.Л. Майзель, В.Г. Сандлер. – М.: Высшая школа, 1988. – 238 с.

21. Сперантов Н.А. Шлаковая вата [Текст] / Н.А. Сперантов, А.В. Тысский; под ред. К.Э. Горяйнов. – М.: Государственное научно-техническое изд-во литературы по черной и цветной металлургии, 1953. – 192 с.

22. Справочник строителя. Тепловая изоляция [Текст] / под ред. Г.Ф. Кузнецова. – М.: Стройиздат, 1985. – 226 с.

23. Тобольский. Г.Ф. Минераловатные утеплители и их применение в условиях сурового климата [Текст] / Г.Ф. Тобольский, Ю.Л. Бобров. – Ленинград.: Стройиздат, 1981. – 175 с.

24. Тобольский. Г.Ф. Минеральная вата и изделия из нее [Текст] / Г.Ф. Тобольский. – Челябинск.: Южно-Уральское книжное изд-во, 1968. – 238 с.

**Солонина Валентина Анатольевна
Зелиг Марина Петровна
Панченко Юлия Федоровна
Панченко Дмитрий Алексеевич**

Минераловатные теплоизоляционные материалы и изделия

Учебное пособие издано в авторской редакции

Сетевое издание

Ответственный за выпуск – Алимова Н.К.

Учебное издание

Системные требования:

операционная система Windows XP или новее, macOS 10.12 или новее, Linux.

Программное обеспечение для чтения файлов PDF.

Объем данных 3 Мб

Принято к публикации «18» апреля 2024 года

Режим доступа: <https://izd-mn.com/PDF/22MNNPU24.pdf> свободный. – Загл. с экрана. –
Яз. рус., англ.

ООО «Издательство «Мир науки»

«Publishing company «World of science», LLC

Адрес:

Юридический адрес — 127055, г. Москва, пер. Порядковый, д. 21, офис 401.

Почтовый адрес — 127055, г. Москва, пер. Порядковый, д. 21, офис 401.

<https://izd-mn.com/>

**ДАННОЕ ИЗДАНИЕ ПРЕДНАЗНАЧЕНО ИСКЛЮЧИТЕЛЬНО ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ НА
ЭЛЕКТРОННЫХ НОСИТЕЛЯХ**