

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

А. А. Мольков

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТЫ

Учебно-методическое пособие

по выполнению расчётно-графической работы
по дисциплине «Технологии теплоизоляционных и изоляционных строительных материалов»
по направлению 08.03.01 Строительство,
профиль «Производство и применение строительных материалов, изделий и конструкций»

Нижний Новгород
2025

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

А. А. Мольков

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТЫ

Учебно-методическое пособие

по выполнению расчётно-графической работы
по дисциплине «Технологии теплоизоляционных и изоляционных строительных материалов»
по направлению 08.03.01 Строительство,
профиль «Производство и применение строительных материалов, изделий и конструкций»

Нижний Новгород
ННГАСУ
2025

УДК 666.1 : 618.93

Мольков, А. А. Проектирование производства минеральной ваты : учебно-методическое пособие / А. А. Мольков ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2025. – 22 с. – 1 электрон. опт. диск (CD-RW). – Текст : электронный.

Приведены указания по выполнению расчетно-графической работы по дисциплине «Технологии теплоизоляционных и изоляционных строительных материалов», рассмотрены содержание и последовательность выполнения работы, даны сведения необходимые для выполнения расчетно-графической работы.

Предназначено обучающимся в ННГАСУ для выполнения расчетно-графической работы по направлению подготовки 08.03.01 Строительство, профиль «Производство и применение строительных материалов, изделий и конструкций».

Содержание

1 Задачи и цели расчетно-графической работы.....	4
2 Тематика расчетно-графической части.....	4
3 Объем, состав и оформление работы.....	5
4 Содержание расчёто-пояснительной записи.....	6
5 Графическая часть расчетно-графической работы.....	21
Список использованных источников.....	22

1 Задачи и цели расчетно-графической работы

1.1 Расчетно-графическая работа по дисциплине «Технологии теплоизоляционных и изоляционных строительных материалов» включает в себя проектирование основных технологических переделов производства минеральной ваты.

Основной целью расчетно-графической работы является:

- привить студентам навыки подбора основного технологического оборудования на примере производства минеральной ваты;
- углубить знания, полученные при изучении теоретического курса;
- научить студентов пользоваться нормативной и технической литературой;
- привить навыки в оформлении расчетной и графической частей.

2 Тематика расчетно-графической части

2.1 Темой расчетно-графической работы является производство минеральной ваты.

В задании на проектирование указываются исходные данные, а именно:

- тема работы;
- характеристики требуемого материала;
- годовая мощность завода;
- характеристики исходного сырья;
- особенности технологии;
- сроки выполнения работы;
- рекомендуемая литература.

3 Объем, состав и оформление работы

3.1 Расчетно-графическая работа состоит из расчётно-пояснительной записи (15-30 страниц) и одного листа графической части.

3.2 Расчётно-пояснительная записка должна быть напечатана или написана на бумаге формата А4 и оформлена в соответствии с требованиями ГОСТ Р 2.105 [1]. Рамку и основные надписи допускается не выполнять. Ниже приведены некоторые требования к оформлению в соответствии с [1].

Текст данного методического пособия можно рассматривать как пример оформления пояснительной записи.

3.3 Текст должен быть разделён на разделы, нумеруемые числами 1, 2, 3 и т.д. Номер раздела пишется с отступом размером от 12,5 до 15 мм. Точка после номера раздела (а также после номеров пунктов) и в конце заголовка не ставится.

Каждый раздел должен состоять из пунктов, хотя бы из одного.

При переносе названия раздела, подраздела, пункта не допускается перенос слов, и новая строка должна также начинаться с отступа.

Заголовок раздела должен печататься полужирным шрифтом и отделяться от предыдущего раздела, а также от последующего текста дополнительным интервалом.

3.4 В тексте должны применяться одинаковые шрифт, отступы и интервалы. Не допускается использовать выделение абзацев увеличенными интервалами. Допускается применять интервал 1,0; 1,15 или 1,5. Рекомендуется шрифт Times New Roman № 12 или № 14.

3.5 Единицы физических величин должны отделяться от численного значения пробелом. Исключение составляют угловые величины – градусы, минуты и секунды.

2.6 Формулы, таблицы и рисунки должны нумероваться в пределах раздела, т.е. номер должен быть двойным, например, «1.2», где первое число – номер раздела, второе – порядковый номер таблицы или рисунка в пределах этого раздела.

Таблицу или рисунок можно приводить только после того, как на неё (него) сделана ссылка в тексте.

Рекомендуется отделять таблицы и рисунки от текста дополнительными

интервалами (пустой строкой).

При переносе названия таблицы, рисунка не допускается перенос слов.

2.7 В тексте не должно быть численных значений, в т.ч. в составе формул, расчёт которых не приводился в предыдущем тесте. Исключение допускается при наличии ссылки на расчёт (на пункт или формулу) сразу после появления в тексте (формуле) таких численных значений.

2.8 Не допускается применять одинаковые обозначения для разных (даже для одноимённых) величин (параметров).

2.9 В тексте не рекомендуется приводить справочные таблицы и другую справочную информацию из нормативных и технических документов. Но необходимо указывать какие численные данные принимаются студентом для дальнейших расчётов со ссылкой на документ, из которого они взяты, например, [3, таблица 2.6], где 3 – номер источника в списке использованных источников.

2.10 Не допускается текст от первого лица. Рекомендуется неопределённая форма глаголов: «принимается ...», «определяется ...», «выбирается ...» и т.п. В отдельных случаях допускается форма от третьего лица: «принимают ...», «выбирают ...» и т.п.

2.11 Численный диапазон значений физической величины, выраженной в однотипных единицах, или безразмерных коэффициентов в тексте оформляют следующим образом: «от 1,0 до 3,15 м/с» или « $(2,0 \pm 0,5)$ кг». Исключение составляют «°», «°C» и «%», например, «от 10° до 30°».

3.12 Графическая часть выполняется на бумаге формата А2 и должна быть оформлена в соответствии с требованиями ГОСТ Р 21.101 [2]. В графической части чертят план и продольный разрез производственного цеха, приводят спецификацию оборудования.

4 Содержание расчётно-пояснительной записи

4.1 Расчётно-пояснительная записка должна состоять из следующих разделов:

- характеристика выпускаемой продукции;

- краткая характеристика сырьевых материалов и топлива;
- выбор и обоснование способа и схемы производства;
- подбор состава шихты;
- материальный баланс;
- подбор основного технологического оборудования;
- список использованных источников.

4.2 Характеристика выпускаемой продукции

4.2.1 В этом разделе подробно приводятся **все характеристики** и основные требования к изготавливаемому материалу (изделию), регламентированные **государственными стандартами или техническими условиями**.

4.3 Краткая характеристика сырьевых материалов и топлива.

4.3.1 В этом разделе излагаются требования, которым должны соответствовать сырьевые материалы и топливо, применяемые при получении минеральной ваты:

- а) в вагранках,
- б) в ванных печах.

Эти требования изложены в соответствующих государственных стандартах, технических условиях, справочной и учебной литературе.

Основным видом сырья, используемым в минераловатной промышленности, являются доменные шлаки и горные породы.

4.3.2 Основными требованиями к сырью при производстве минеральной ваты при плавлении его в вагранках являются:

- а) химический состав сырья, позволяющий получать расплав с невысокой температурой плавления и значительным интервалом вязкости, обеспечивающий получение минеральной ваты, стойкой против действия атмосферных, температурных и других факторов;
- б) прочность и термическая стойкость кусков сырья;
- в) зерновой состав сырья, в зависимости от способа получения расплава;
- г) доступность получения сырья и простота его предварительной подготовки.

Основным показателем, определяющим пригодность сырья для производства минеральной ваты, служит модуль кислотности. В соответствии со стандартом ГОСТ 4640 [3] модуль кислотности должен быть не менее 1,4. Таким образом, не все виды сырья могут быть применены для производства минеральной ваты без корректирующих добавок. Так, например, при повышенной кислотности исходного сырья в качестве добавок применяют основные карбонатные породы, доломит, известняк и др., при пониженной кислотности – бой силикатного кирпича, красного кирпича, кислые горные породы.

Ориентировочные требования к сырьевым материалам для вагранок представлены в виде следующих значений:

- насыпная плотность щебня и смеси должна быть не менее 1000 кг/м³;
- гранулометрический состав 40-100 мм для шлака и 20-100 мм для горных пород;
- содержание фракций менее 40 мм должно быть не более 5%;
- сырье не должно содержать тугоплавких примесей, металлических включений, должно быть стойким к различным видам распада;
- прочность, определяемая сдавливанием в цилиндре зерен размером 20-60 мм, не менее 1,5 МПа.
- содержание серы не должно превышать 1,8 %.

4.3.2 Более современными в технологическом отношении плавильными агрегатами является ванные печи непрерывного действия с фидером и регенератором. Ванные печи обеспечивают лучшее качество расплава, чем получаемое в вагранках.

Сырье, используемое в ванных печах – это непрочные легко рассыпающиеся горные породы, которые без брикетирования нельзя плавить в вагранках: рыхлый мел, лесс, некоторые разновидности глин и мергелей.

Измельчение компонентов для ванных печей должно производиться до одинаковой степени крупности, причем все компоненты шихты должны иметь размеры частиц не более 2-х мм.

Содержание тугоплавких примесей, посторонних включений, вредных примесей, должно отвечать требованиям к ваграночному сырью. Влажность шихты не должна превышать 6%.

4.3.3 Характеристики топлива применяемого для получения минеральной ваты.

В вагранках целесообразно применение литейного кокса с механической прочностью 8-14 МПа обладающего наиболее низкой реакционной способностью (до 25%) и поэтому обеспечивающего наиболее полное сгорание кокса, в результате чего развивается высокая температура горения.

Плавильные агрегаты, отапливаемые газообразным топливом, обладают рядом технико-экономических преимуществ по сравнению с коксовыми вагранками. Эти преимущества обусловлены более низкой стоимостью единицы тепла, получаемого при сжигании газообразного топлива, удобством транспортирования газа и широкими возможностями автоматического управления процессами горения газа.

Топливом для ванных печей является природный газ с удельной теплотой сгорания (теплотворной способностью) 8-8,5 кДж/кг, или мазут малосернистый с удельной теплотой сгорания 9,65 кДж/кг.

4.3.4 В разделе также приводятся требования к материалам, необходимым для производства изделий из минеральной ваты – связующему, прошивному и обкладочному материалам (если проектируется производство минераловатных изделий).

4.4 Выбор и обоснование способа и схемы производства.

4.4.1 В этом разделе приводится краткий обзор существующих способов производства данного материала, отмечаются их преимущества и недостатки, подтверждаемые соответствующими технико-экономическими показателями (расход сырья, топлива, электроэнергии и т.п.).

4.4.2 Если способ производства не задан, следует его выбрать в соответствии с требованиями к выпускаемой продукции, характеристикой сырья и технико-экономическими показателями выбранной технологии.

4.4.3 В заключении раздела необходимо привести технологическую схему производства всего цеха, в которой отражают все технологические переделы.

4.5 Подбор состава шихты

4.5.1 Для характеристики химического состава сырья и самой ваты пользуются величиной модуля кислотности, который представляет собой отношение суммы кислых окислов ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$), содержащихся в сырье или вате к сумме основных окислов ($\text{CaO} + \text{MgO}$).

Пригодность состава шихты для производства минеральной ваты определяется по трем важнейшим показателям: модулю кислотности - M_k , модулю вязкости - M_v и показателю водостойкости - Π_v (значение pH раствора, полученного при растворении измельченной минеральной ваты в разбавленном растворе соляной кислоты). Данные показатели находятся по формулам:

$$M_k = \frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{CaO} + \text{MgO}}; \quad (1)$$

$$M_v = \frac{1,7\text{SiO}_2 + 2\text{Al}_2\text{O}_3}{1,8\text{CaO} + 5\text{MgO} + 1,25\text{Fe}_2\text{O}_3 + 1,4\text{FeO} + 3,2\text{Na}_2\text{O} + 2,1\text{K}_2\text{O}}; \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \Pi_v = & -0,1\text{SiO}_2 + 0,6\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 0,2\text{CaO} + 0,9\text{MgO} - 0,004\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 - \\ & -0,003\text{SiO}_2 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 + 0,002\text{SiO}_2 \cdot \text{CaO} - 0,008\text{SiO}_2 \cdot \text{MgO} + 0,01\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 - 0,015\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \\ & \text{CaO} - 0,03 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{MgO} - 0,005\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO} - 0,008\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{MgO} - 0,004\text{CaO} \cdot \text{MgO}; \end{aligned} \quad (3)$$

где SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , FeO , Na_2O , K_2O - содержание соответствующих оксидов в материале после прокаливания, %.

Для минеральной ваты марок ВМ-35, ВМ-50 и ВМ-70 модуль кислотности должен быть не менее 2,0, 1,6 и 1,4 соответственно. Показатель водостойкости должен быть для ваты ВМ-35 не более 3,5, ВМ-50 и ВМ-70 - не более 4,0.

При ваграночном способе плавления шихты верхний предел модуля вязкости, при котором сохраняется достаточная производительность вагранки без подогрева дутья, не должен превышать 1,2; при ванном способе плавления - 1,4.

4.5.2 Расчет состава шихты

4.5.2.1 Определяется химический состав сырья без учета потерь при прокаливании - ппп. Содержание каждого оксида определяется при этом по формуле:

$$RO^* = \frac{RO}{1 - \frac{nnn}{100}}, \% \quad (4)$$

где RO - содержание данного оксида в материале до прокаливания, %.

4.5.2.2 Определяются M_k , M_b , Π_b каждого компонента шихты. Компонент, у которого M_k меньше допускаемого ГОСТ, называется основным, а у которого больше – кислым. Компонент, у которого M_b меньше рекомендуемого, называется легко-плавким, а у которого больше – тугоплавким. Компонент, у которого показатель водостойкости Π_b , меньше допускаемого, называется водостойким, а у которого больше – неводостойким.

4.5.2.3 Определяется допустимое содержание основного компонента в шихте – K_o , по формуле

$$K_o < \frac{A_k - B_k M_k}{(B_o - B_k)M_k - A_o + A_k}, \quad (5)$$

где A_k и A_o - суммарное содержание оксидов кремния и алюминия в составе соответственно кислого и основного компонента, %;

B_k и B_o - суммарное содержание оксидов кальция и магния в составе соответственно кислого и основного компонента, %;

M_k - минимально допустимый модуль кислотности.

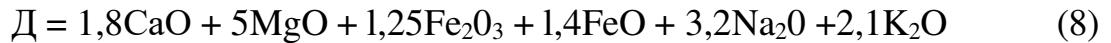
4.5.2.4 Определяется допустимое содержание легкоплавкого компонента в шихте - K_l по формуле

$$K_l > \frac{C_m - D_m M_e}{(D_l - D_m)M_e - C_l + C_m}, \quad (6)$$

где C_t и C_l - определяются по формуле (7) для тугоплавкого и легкоплавкого компонента соответственно;

D_t и D_l , - определяются по формуле (8) для тугоплавкого и легкоплавкого компонента соответственно;

M_b - максимально допустимый (рекомендуемый) модуль вязкости.



4.5.2.5 Определяется допустимое содержание неводостойкого компонента – K_{hb} по формуле

$$K_{hb} < \frac{\Pi - \Pi^6}{\frac{\Pi^6 - \Pi^6}{\Pi^{hb} - \Pi^6}}, \quad (9)$$

где Π_b - максимально допустимый показатель водостойкости;

Π_b^6 и Π^{hb} - показатели водостойкости соответственно водостойкого и неводостойкого компонентов.

4.5.2.6 По результатам расчётов по формулам (5)...(9) определяется допустимое содержание компонентов, и в этих пределах назначается состав двухкомпонентной шихты¹.

4.5.2.7 Определяется состав шихты с учётом потерь при прокаливании. Содержание первого компонента (любого):

$$K'_1 = \frac{100 K_1 (100 - nnn_2)}{K_1 (100 - nnn_2) + K_2 (100 - nnn_1)}, \% \quad (10)$$

содержание второго компонента:

$$K'_2 = 100 - K'_1, \%, \quad (11)$$

где K_1 и K_2 - содержание соответственно первого и второго компонентов в шихте без учёта потерь при прокаливании, %;

nnn_1 и nnn_2 - потери при прокаливании соответственно первого и второго компонента, %.

¹Отрицательные значения K_o , K_l или K_{hb} , а также получение взаимоисключающих областей значения этих показателей означает, что из данных материалов невозможно составить двухкомпонентную шихту, обеспечивающую получение ваты с требуемыми характеристиками.

4.5.2.8 Пример расчёта состава шихты для производства минеральной ваты ВМ-50 в вагранке.

Таблица 1 - Химический состав сырьевых компонентов, %

Материал	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	FeO	MgO	Прочие	п.п.п.
Шлак	26	3	20,5	42	0,2	7	1,3	0
Диабаз	48	12,5	15,4	10,6	1,1	7,7	0,7	4

Определяется содержание оксидов в каждом материале после прокаливания по формуле (4). Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Химический состав сырьевых материалов после прокаливания, %

Материал	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	FeO	MgO	Прочие
Шлак	26,0	3,0	20,5	42,0	0,2	7,0	1,3
Диабаз	49,6	12,9	15,9	11,0	1,1	8,0	0,7

На основании требований ГОСТ 4640 [3] и выбранного плавильного агрегата принимаем следующие значения основных показателей:

- модуль кислотности $M_k = 1,6$;
- модуль вязкости $M_v = 1,2$;
- показатель водостойкости $\Pi_v = 4,0$.

Модуль кислотности диабаза и шлака определяется по формуле (1):

$$M^D_k = \frac{49,6+12,9}{11+8} = 3,31 \text{ - кислый компонент шихты.}$$

$$M^D_v = \frac{26+3}{42+7} = 0,59 \text{ - основный компонент шихты.}$$

Допустимое содержание основного компонента - шлака определяется по формуле (5).

$K_o^w < 0,40$ или $K_o^w < 40\%$. Модуль вязкости диабаза:

$$M^D_v = \frac{1,7 \cdot 49,6 + 2 \cdot 12,9}{1,8 \cdot 11 + 5 \cdot 8 + 1,25 \cdot 15,9 + 1,4 \cdot 1,1} = 1,36 \text{ - тугоплавкий компонент шихты.}$$

Модуль вязкости шлака:

$$M_{\text{B}}^{\text{III}} = \frac{1,7 \cdot 26 + 2 \cdot 3}{1,8 \cdot 42 + 5 \cdot 7 + 1,25 \cdot 20,5 + 1,4 \cdot 0,2} = 0,37 - \text{легкоплавкий компонент шихты.}$$

Допустимое содержание легкоплавкого компонента – шлака определяется по формуле (6).

$$K_{\text{L}}^{\text{III}} > 0,10 \text{ или } K_{\text{L}}^{\text{III}} > 10 \text{ %.}$$

Показатель водостойкости диабаза определяется по формуле (3).

$$\Pi_{\text{B}}^{\text{d}} = 2,94 < 4, \text{ следовательно, диабаз - водостойкий компонент.}$$

Показатель водостойкости шлака:

$$\Pi_{\text{B}}^{\text{III}} = 8,28 > 4, \text{ следовательно, шлак - неводостойкий компонент.}$$

Допустимое содержание неводостойкого компонента – шлака в шихте определяется по формуле (7).

$$K_{\text{HB}}^{\text{III}} < 0,20 \text{ или } K_{\text{HB}}^{\text{III}} < 20 \text{ %.}$$

Суммируем полученные результаты:

$$K_{\text{o}}^{\text{III}} < 40 \text{ %},$$

$$K_{\text{L}}^{\text{III}} > 10 \text{ %},$$

$$K_{\text{HB}}^{\text{III}} < 20 \text{ %.}$$

Следовательно, допустимое содержание шлака в шихте без учета ППП составляет от 10 до 20 %, в среднем - 15 % (назначать среднее значение необязательно; можно учесть стоимость компонентов; однако нежелательно назначать граничное содержание компонента из-за погрешности при дозировании компонентов и колебаний химического состава сырья).

Содержание диабаза без учета ппп - 85 %.

Определяется содержание компонентов в шихте с учетом потерь при прокаливании (ппп шлака - 0 %, ппп диабаза - 4 %) по формулам (10) и (11):

$$K_{\text{III}}' = \frac{100 \cdot 15 \cdot (100 - 4)}{15 \cdot (100 - 4) + 85 \cdot (100 - 0)} = 14,5 \text{ %},$$

$$K_{\text{d}}' = 100 - 14,5 + 85,5 \text{ %.}$$

Полученные значения можно округлить: содержание шлака - 15 %, диабаза - 85 %.

4.6 Составление материального баланса

4.6.1 Материальный баланс чаще всего составляется на единицу готовой продукции, в данном случае - на 1 м³ минеральной ваты (далее - МВ) или минераловатных изделий (далее - МИ). Исходными данными для расчета являются:

- средняя плотность МВ или МИ - ρ , кг/м³ принимается, исходя из задания и требований ГОСТ на продукцию;
- влажность готовой продукции - W , %, назначается, исходя из требований ГОСТ на продукцию и технологии производства;
- содержание органических веществ - связующего или замасливателя в готовой продукции;
- состав шихты;
- расход кокса и его зольность;
- концентрация раствора связующего или замасливателя;
- потери при прокаливании шихты - ПП;
- потери материалов и полуфабрикатов на всех технологических переделах.

4.6.2 Расчёты по составлению материального баланса удобней начинать с конца технологической цепочки (со склада готовой продукции). Потери материала на каком-либо технологическом участке учитываются следующим образом:

$$X = 100X_0 : (100 - \Pi), \quad (12)$$

где X - количество материала, из которого после данной технологической операции получается X_0 единиц (кг, м и т.п.) продукции;

Π - потери материала на данном технологическом переделе, % от X .

В случае, если потери невелики (не более 10 %), X можно рассчитывать по упрощённой формуле

$$X = X_0 (1 + \Pi : 100). \quad (13)$$

В некоторых случаях, если суммарные потери на нескольких последовательных технологических переделах не превышают 10 %, их можно учитывать в целом по формуле (12) или (13).

4.6.3 Потери сырья, полуфабрикатов и готовой продукции:

- потери сыпучих материалов (шлакового щебня, горных пород, кокса) при складировании и транспортировании – от 0,5 % до 2 %;
- потери жидких материалов при складировании и транспортировании – от 0,5 % до 1 %;
 - потери сыпучих материалов при дроблении и сортировке: сырья – от 10 % до 15 %, кокса (без дробления) – от 3 % до 5 %;
 - потери раствора битума или синтетического связующего при пульверизации в камеру волокноосаждения – от 3 % до 5 %;
 - потери расплава при волокнообразовании: центробежно-дутьевым способом – от 25 % до 30 %, центробежным способом – от 15 % до 30 %, пародутьевым способом – от 5 % до 10 % (в случае если в технологической схеме предусматривается сбор и вторичное использование отходов минерального расплава, данные потери при расчёте материального баланса следует уменьшить в 3 – 5 раз);
 - потери при приготовлении и транспортировании водных растворов или эмульсий связующих или замасливателей – 0,5 %;
 - потери связующего при введении проливом или методом гидромассы с последующим отсосом и отжатием – 3 %;
 - потери минеральной ваты при гранулировании – от 25 % до 30 % (в случае, если в технологической схеме предусматривается сбор данных отходов и возврат в плавильный агрегат, потери при расчёте материального баланса следует уменьшить в 4 – 5 раз);
 - потери минераловатного ковра при резке – от 4 % до 5 % (в случае, если в технологической схеме предусматривается сбор данных отходов и возврат в плавильный агрегат, потери при расчете материального баланса следует уменьшить в 4 – 5 раз);
 - потери на брак и при складировании готовой продукции – 0,5 %.

4.6.4 Нормы расхода материалов:

- расход литейного кокса (без учёта потерь): при применении шлаков – от 15 % до 25 % от массы шихты, при применении горных пород – от 25 % до 35 %;

- расход рабочего раствора (эмulsionии) связующего назначается, исходя из допускаемого ГОСТом содержания связующего в минераловатном изделии и рекомендуемой концентрации рабочего раствора. Расход рабочего раствора (эмulsionии) замасливателя назначается, исходя из допускаемого ГОСТ 4640 содержания органических веществ в минеральной вате и рекомендуемой концентрации рабочего раствора (от 2 % до 5 %);
- расход термоусадочной плёнки для упаковки минераловатных плит – от 35 до 50 м²/м³ плит.

4.6.5 Пример расчёта материального баланса при производстве плит из минеральной ваты на синтетическом связующем (ваграночный способ производства).

4.6.5.1 Исходные данные:

- марка плиты: ПМ-40(НГ)-1000.400.30 ГОСТ 9573-2012;
- влажность плит принимается 1 %;
- содержание связующего принимается 2 % (по ГОСТ 9573 [4] - не более 3 %);
- сырьё: шлак (ппп - 0 %, влажность - 1 %), диабаз (ппп = 4 %, влажность - 3 %);
- состав шихты: шлак - 15 %, диабаз - 85 %;
- расход кокса - 25 % от массы сухой шихты;
- потери шлака, диабаза, кокса при складировании и транспортировании - 0,5 %;
- потери шлака и диабаза при дроблении - 3 %;
- потери шлака, кокса и диабаза при сортировке - 5 %;
- потери расплава при волокнообразовании - 20 %;
- потери связующего (фенолоспирта) при складировании - 3 %;
- потери раствора связующего (состава - связующее : вода = 1 : 6 по массе) при приготовлении и транспортировании - 1 %;
- потери раствора связующего при введении в минераловатный ковёр - 3 %;
- потери минераловатного ковра при обрезке - 5 %;
- потери готовой продукции (некондиция, брак, складские потери) - 0,5 %.

4.6.5.2 В соответствии с ГОСТ 9573 средняя плотность плит в сухом состоянии должна быть от 40 до 45 кг/м³. Принимается $\rho = 43$ кг/м³. Плотность влажной плиты $\rho_w = 43 \cdot (1 + 1 : 100) = 43,43$ кг/м³.

4.6.5.3 Расчёт материального баланса ведётся на 1 м³ плит.

Масса 1 м³ плит – 43,43 кт/м³ в том числе: влага – 0,43 кг, связующее – 43 · 0,02 = 0,86 кг, волокна – 43 – 0,86 = 42,14 кг.

Количество минераловатного ковра, из которого получается 1 м³ готовой продукции, с учётом потерь при складировании, на брак и при обрезке (суммарные потери – 0,5 + 5 = 5,5 %) – 43,43 · 100 : (100 - 5,5) = 45,96 кг, в том числе: вода – 0,43 · 100 : (100 - 5,5) = 0,46 кг, связующее – (45,96 - 0,46) · 0,02 = 0,91 кг, волокна – 45,96 - 0,46 - 0,91 = 44,59 кг.

Потери – 45,96 - 43,43 = 2,53 кг.

Количество минерального расплава, необходимое для получения 44,59 кг волокон: 44,59 · 100 : (100 - 20) = 55,74 кг. Потери расплава – 55,74 - 44,95 = 11,15 кг. Ппп шихты = (ппп_{шлака} · 15 % + ппп_{диабаза} · 85 %) : 100 % = (0 + 4 · 85) : 100 = 3,4 %. Расход сырьевых материалов без учёта их влажности: 55,74 · 100 : (100 - 3,4) = 57,70 кг. Ппп шихты – 57,70 - 55,74 = 1,96 кг.

Расход кокса – 57,70 · 25 : 100 = 14,43 кг.

Количество золы, остающейся после сгорания кокса (зольность - 8 %) – 14,43 · 0,08 = 1,15 кг. Количество кокса, переходящего в углекислый газ при сгорании – 14,43 - 1,15 = 13,27 кг.

В шихте содержится: шлака – 57,70 · 0,15 = 8,66 кг,
диабаза – 55,7 - 8,66 = 49,05 кг.

Расход материалов с учётом влажности: шлака – 8,66 · 100 : (100 - 1) = 8,74 кг, диабаза – 49,04 · 100 : (100 - 3) = 50,56 кг. Количество воды в материалах – 8,74 + 50,56 – 8,66 – 49,05 = 1,60 кг.

Расход материалов с учётом потерь при складировании, транспортировании, дроблении и сортировке: шлака – 8,74 · 100 : (100 - (0,5 - 3 - 5)) = 9,55 кг;
диабаза – 50,56 · 100 : (100 - 0,5 - 3 - 5) = 55,26 кг;
кокса – 14,43 · 100 : (100 - 0,5 - 5) = 15,27 кг.

Потери материалов – $9,55 + 55,26 + 15,27 - 8,74 - 50,56 - 14,43 = 6,35$ кг.

Количество фенолоспирта в составе раствора связующего с учётом потерь при введении, транспортировании и приготовлении – $0,91 \cdot 100 : (100 - 3 - 1) = 0,95$ кг.
Потери фенолоспирта – $0,95 - 0,91 = 0,04$ кг.

Количество воды, необходимое для приготовления раствора связующего (состава 1:6) – $0,95 \cdot 6 = 5,69$ кг.

Необходимое количество фенолоспирта с учётом потерь при складировании – $0,95 \cdot 1,03 = 0,98$ кг.

Потери фенолоспирта общие – $0,98 - 0,91 = 0,07$ кг. Результаты расчётов заносятся в таблицу 3.

4.6.5.4 Далее, исходя из расчёта материального баланса на единицу продукции, составляется потребность в сырьевых материалах на годовую программу производства:

$$M_e = M_{i_{ed.n}} \cdot \Pi_g, \text{ кг} \quad (14)$$

где $M_{i_{ed.n}}$ – потребность в материале на единицу продукции, кг;

Π_g – годовая производительность производства, m^3 .

Результаты расчета сводятся в таблицу 4.

4.7 Подбор основного технологического оборудования.

В разделе необходимо:

- выбрать тип и рассчитать количество основного технологического оборудования;
- установить количество технологических потоков по всей разрабатываемой технологии производства или на отдельных ее участках и рассчитать требуемую производительность оборудования на потоках;

Предпочтение при выборе оборудования следует отдавать серийному современному оборудованию.

Таблица 3 - Материальный баланс на 1 м³ минераловатных плит

ПРИХОД			РАСХОД			
Материал	кг	%	Наименование	кг	%	
Шлак	9,55	11,01	Минераловатная плита (W = 1 %)	43,43	50,07	
Диабаз	55,26	63,70	Потери минераловатного ковра и			
Кокс	15,27	17,60	плит	2,53	2,91	
Вода	5,69	6,56	Потери фенолоспирта	0,07	0,08	
Фенолоспирт	0,98	1,13	Потери расплава	11,15	12,85	
			Зола	1,15	1,33	
			Углекислый газ (в пересчёте на углерод)	13,27	15,30	
			Ппп шихты	1,96	2,26	
			Испарившаяся вода	6,84	7,88	
			Потери шлака, диабаза и кокса при складировании, транспортировании и сортировке	6,35	7,32	
Итого	86,75	100,00		Итого	86,75	100,00
Примечание - количество испарившейся воды: 5,7 + 1,61 - 0,46 = 6,84 кг.						

Таблица 4 – Годовая потребность в основных сырьевых материалах

Наименование материала	Количество материала, кг (т)

В расчетно-пояснительной записке приводят основные характеристики выбранного оборудования (производительность, габариты, масса и т.д.) в табличном виде.

Количество технологического оборудования (N) рассчитывают по формуле

$$N = \frac{M_{час}}{\Pi_u \cdot K_{см}}, \quad (15)$$

где $M_{час}$ - требуемая производительность в час;

Π_u - паспортная производительность в час;

$K_{см}$ - коэффициент использования оборудования в течение смены, учитывающий остановку оборудования на осмотр, отдых работающих и т.д. $K_{см} = 0,85 - 0,92$.

В записке необходимо указать количество принятого оборудования. Зная количество технологического оборудования, устанавливают количество технологических потоков. Следует стремиться, чтобы все производство было организовано в один поток или в несколько одинаковых потоков.

4.8 Список использованных источников

Приводят весь перечень использованных для выполнения работы источников, в том числе и ссылки на интернет ресурсы.

5 Графическая часть расчетно-графической работы

5.1 Графическая часть работы выполняется на листе формата А2, на котором приводятся:

- план производственного корпуса со схематически изображенным технологическим оборудованием, составляющим технологическую линию;
- спецификацию оборудования технологической линии.

Оборудование вычерчивают в соответствии с его габаритными размерами, указанными в разделе «Подбор основного технологического оборудования» пояснительной записи. Оборудование на чертеже должно полностью соответствовать принятой технологической схеме производства. Основное технологическое оборудование соединяется с помощью транспортирующего оборудования (конвейеры, элеваторы и т.п.).

Список использованных источников

1. ГОСТ Р 2.105-2019 Единая система конструкторской документации.

Текстовые документы.

2. ГОСТ Р 21.101-2020 Система проектной документации для строительства

Основные требования к проектной и рабочей документации.

3. ГОСТ 4640-2011 Вата минеральная. Технические условия.

4. ГОСТ 9573-2012 Плиты из минеральной ваты на синтетическом связующем теплоизоляционные. Технические условия.

5. ОНТП 444-83 Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий по производству минераловатных изделий и конструкций.

Мольков Алексей Александрович

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТЫ

Учебно-методическое пособие

по выполнению расчётно-графической работы

по дисциплине «Технологии теплоизоляционных и изоляционных строительных материалов»

по направлению 08.03.01 Строительство,

профиль «Производство и применение строительных материалов, изделий и конструкций»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

603000, Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65.

<http://www.nngasu.ru>, rector@nngasu.ru