

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства»  
(ПГУАС)

## **ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА**

Методические указания для самостоятельных работ  
по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство»

Пенза 2015

УДК 691.5.58 (075.8)

ББК 38.3 я 73

В99

Рекомендовано Редсоветом университета

Рецензенты: кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление качеством и технология строительного производства» Л.В. Макарова (ПГУАС); начальник производственно-строительной лаборатории ОАО «Механика» О.А.Щукина (г. Пенза)

**Вязущие вещества:** методические указания для самостоятельных работ по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» / В.И. Калашников, М.О. Коровкин, Н.А. Ерошкина; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.П. Скачкова.. – Пенза: ПГУАС, 2015. – 24 с.

Содержат перечень основных вопросов, задач и формул для самостоятельного изучения курса «Вязущие вещества».

Методические указания подготовлены на кафедре «Технологии строительных материалов и деревообработки» и предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство».

© Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2015

© Калашников В.И., Коровкин М.О., Ерошкина Н.А., 2015

## ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа при изучении курса – одна из наиболее важных частей учебного процесса. Этот вид учебной работы в большей степени позволяет подготовить будущего выпускника к различным видам производственной деятельности. В процессе этой работы у будущего выпускника вырабатываются навыки независимого мышления, способность осуществлять поиск научно-технической информации, анализировать и использовать ее для решения реальных производственных проблем. В этом состоит коренное отличие роли самостоятельной работы от лекционных, практических и лабораторных занятий, в процессе которых студент действует под руководством преподавателя.

При самостоятельной работе более полно формируются некоторые из важнейших компетенций бакалавра по направлению 08.03.01 «Строительство» в частности: способность использовать основные законы естественно-научных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и математического моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ОПК-1), а так же умение выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ОПК-2), а также владение технологией и методами разработки технологических процессов производства строительных материалов и изделий, машин и оборудования (ПК-4), владение знаниями научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по технологии вяжущих веществ (ПК-9).

В методических указаниях сформулированы наиболее важные вопросы для самостоятельного изучения, задачи, и, кроме того, даны необходимые справочные данные и формулы для решения задач.

# 1. ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ

1. Особенности приготовления портландцементной сырьевой смеси по мокрому и сухому способам.
2. Классификация и номенклатура минеральных вяжущих веществ.
3. Классификация минеральных добавок к вяжущим.
4. Активные минеральные добавки. Оценка их гидравлической активности.
5. Пуццолановые портландцементы, технология, свойства и применение.
6. Сырьевые материалы для производства портландцемента.
7. Быстротвердеющие и тонкомолотые цементы.
8. Обжиг при сухом и мокрых способах производства портландцемента.
9. Процессы происходящие при обжиге клинкера во вращающихся печах
10. Измельчение клинкера, размалываемость различных видов клинкера.
11. Физико-химические основы схватывания и твердения портландцемента.
12. Гидролиз и гидратация. Химический состав гидратов.
13. Структурная вязкость и пластическая прочность цементного теста.
14. Седиментация и водоудерживающая способность цементного теста.
15. Контракция цементного теста.
16. Микроструктура теста и камня. Генезис пор при твердении.
17. Тепловыделение при взаимодействии цемента с водой.
18. Формы связи воды в тесте и камне.
19. Объемные изменения при схватывании и твердении цементного камня.
20. Ползучесть цементного камня и ее зависимость от влажности.
21. Трещиностойкость цементного камня и зависимость ее от различных факторов. Значение для практики.
22. Стойкость цементов против химических и физических факторов.
23. Виды химической коррозии, их физико-химическая сущность.
24. Физическая коррозия цементного камня.
25. Солевая форма коррозии.
26. Морозостойкость и способы ее повышения
27. Глиноземистый цемент. Состав и его разновидности.
28. Технология, свойства и применение глиноземистого цемента.
29. Специальные виды цементов: белый, цветной, быстротвердеющий, сульфатостойкий.

30. Основные области применения цементных вяжущих.
31. Классификация и номенклатура гипсовых и ангидритовых вяжущих.
32. Требования к сырью для получения гипсовых и ангидритовых вяжущих.
33. Физико-химические основы производства строительного ( $\beta$ -вяжущего) гипса и высокопрочного гипса ( $\alpha$ -вяжущего).
34. Способы производства ( $\beta$ -вяжущего) гипса и высокопрочного гипса ( $\alpha$ -вяжущего).
35. Схватывание, твердение гипсовых вяжущих  $\beta$  и  $\alpha$  – модификаций. Теория твердения Ле Шателье, А.А. Байкова и др.
36. Влияние удельной поверхности на свойства вяжущих.
37. Требования ГОСТов к свойствам гипсовых вяжущих.
38. Марки по прочности, срокам схватывания и дисперсности гипсовых вяжущих.
39. Свойства гипсовых вяжущих: водопотребность, скорость схватывания и твердения.
40. Факторы, влияющие на основные свойства гипсовых вяжущих.
41. Добавки регулирующие сроки схватывания гипсовых вяжущих.
42. Прочность гипсовых вяжущих и ее зависимость от водогипсового отношения, влажности, времени твердения и добавок.
43. Основные области применения гипсовых вяжущих.
44. Активность, прочность и марка цемента и определение их по стандартам.
45. Формулы прочности цементного камня и бетона в зависимости от активности цементов, В/Ц – отношения и степени гидратации.
46. Виды воздушной строительной извести.
47. Сырье для производства воздушной извести, ее оценка по химическому и минералогическому составу.
48. Карбонатное твердение извести.
49. Гидратное твердение негашеной извести в воздушной среде.
50. Гидросиликатное твердение.
51. Основные области использования гидравлической извести и роман-цемента.
52. Свойства извести.
53. Шлаки, их свойства и минеральный состав.
54. Структура доменных гранулированных шлаков.
55. Шлакопортландцемент и технология его получения.
56. Свойства и применение шлакопортландцемента.
57. Кислотоупорный цемент на основе жидких (растворимых) стекол.
58. Технология, свойства и применение кислотоупорного цемента.

## 2. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Сколько полуводного гипса получится после термической обработки 25 тонн гипсового камня?

2. Рассчитать сколько получится негашеной и гидратной извести из 32 т известняка с содержанием  $\text{CaO}$  – 85% и естественной влажностью 8%.

3. Сколько получится известкового теста, содержащего 50% воды, из 2 т извести-кипелки, имеющей активность 85%?

4. Определить выход сухой извести-кипелки из 22 т известняка содержащего 6.7% глинистых примесей.

5. Сколько получится комовой извести при обжиге 20 т известняка с естественной влажностью 2% и содержащего 10% глинистых и песчаных примесей.

6. Сколько комовой извести (кипелки) можно изготовить при обжиге 30 т чистого известняка с влажностью 8 %

7. Производится обжиг 300 т известняка, имеющего влажность 9 %, содержание глинистых примесей 6 % и песчаных примесей 4%. Каковы масса и сорт получаемой комовой извести?

8. Сколько можно получить гидроксида кальция (пушонки) с влажностью 5 % при гашении 35 т негашеной извести с активностью 80 %?

9. Сколько гидроксида кальция и воды содержится в 50 м<sup>3</sup> известкового теста, если средняя плотность последнего равна 1450 кг/м<sup>3</sup>? Истинная плотность гидроксида кальция 2100 кг/м<sup>3</sup>.

10. Какова требуемая вместимость творильной ямы для гашения 120 т негашеной извести, если активность извести 80 %, содержание воды в тесте 50%, средняя плотность известкового теста 1400 кг/м<sup>3</sup>?

11. Расшифровать следующее условное обозначение гипсового вяжущего: Г-5 В II. Как определить значения расшифрованных показателей?

12. Назвать условное обозначение гипсового вяжущего с перечисленными далее показателями. Сроки схватывания: начало – 20 мин, конец – 120 мин. Остаток на сите № 02 – 12 %. Прочность образцов-балочек размером 40×40×160 мм в возрасте 2 ч: на изгиб – 6,7 МПа, на сжатие – 19,8 МПа.

13. Сколько полуводного гипса можно получить после термической обработки 150 т гипсового камня, содержащего 6,7% примесей?

14. Сколько ангидритового цемента возможно изготовить при обжиге 200 т гипсового камня? Учесть, что в ангидритовый цемент вводят до 20 % добавок-катализаторов (воздушная известь, бисульфат натрия, обожженный доломит, гранулированный доменный шлак).

15. Определить количество связанной воды при полной гидратации 1 т полуводного гипса.

16. Сколько потребуется каменного угля с калорийностью 6300 ккал/кг, что бы получить 20 т негашеной извести из чистого известняка. Известно, что на разложение 1 г-мол. известняка требуется 42,5 ккал.

17. Сколько потребуется чистого известняка с влажностью 5% для получения 10 т негашеной извести.

18. Рассчитать объем шахтной печи для получения 20 т в сутки негашеной извести при условии, что средняя плотность известняка в кусках равна  $1700 \text{ кг/м}^3$ , топливо занимает около 25% общего объема печи; цикл обжига проходит за 2 дня.

19. Определить, сколько можно получить извести негашеной в сутки, если обжигать известняк в шахтной печи объемом  $50 \text{ м}^3$ . Топливо в печи занимает 20% общего объема печи, а средняя плотность известняка в кусках равна  $1600 \text{ кг/м}^3$ . Цикл обжига проходит в течение 3 суток.

20. Сколько можно получить сухой гидратной извести при гашении 15 т негашеной извести с активностью 80% (содержание CaO).

21. Сколько содержится извести и воды (по массе) в  $1 \text{ м}^3$  известкового теста, если средняя плотность его равна  $1400 \text{ кг/м}^3$ . Истинная плотность гидратной извести в порошке составляет  $2,05 \text{ г/см}^3$ .

22. Определить среднюю плотность известкового теста, если воды в нем содержится 50% (по массе). Истинная плотность порошкообразной гидратной извести  $2,05 \text{ г/см}^3$ .

23. Какой будет выход известкового теста по массе и объему из 1 т негашеной извести, если она имеет активность 70%. Содержание воды в тесте 50% от общей массы, а средняя плотность известкового теста  $1400 \text{ кг/м}^3$ .

24. Сколько потребуется гидратной извести, чтобы приготовить  $1 \text{ м}^3$  известкового теста со средней плотностью  $1400 \text{ кг/м}^3$ . Истинная плотность гидратной извести  $2,0 \text{ т, м}^3$ .

25. Сколько нужно взять гидравлической добавки, чтобы полностью связать 1 т гашеной извести, имеющей активность 80% (содержание CaO). Установлено, что в составе гидравлической добавки имеется 60% активного кремнезема. Предполагается, что в результате твердения будет образовано соединение  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  однокальциевый гидросиликат.

26. Приготовить 1 т известково-трепельного цемента, если трепел имеет в своем составе 70%  $\text{SiO}_2$ , а гидратная известь 85% CaO. Предполагается, что соединение имеет формулу  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

27. Сколько нужно добавить трепела к портландцементу М 600, чтобы получить пуццолановый портландцемент М400. Предполагается, что трепел не участвует в реакции образования цементного камня до 28-дневного возраста.

28. Определить содержание химически связанной воды для цементного камня, приготовленного из портландцемента, имеющего минералогический состав:  $C_3S$  – 50%,  $C_2S$  – 25%,  $C_3A$  – 5%,  $C_4AF$  – 18%. Указать конечные продукты клинкерных минералов.

29. Определить пористость в затвердевшем цементном камне, изготовленном из портландцемента. Цементное тесто при затворении содержало 28% воды, а количество связанной воды равно 20% от массы цемента. Истинную плотность портландцемента принять равным  $3,1 \text{ г/см}^3$ .

30. Определить пористость в затвердевшем цементном тесте, изготовленном из шлакопортландцемента, если тесто содержало 40% воды, а для прохождения реакций при твердении требуется 18%. Истинная плотность шлакопортландцемента -  $2,95 \text{ г/см}^3$ .

31. Какое количество мылонафта III сорта (гидрофобная добавка), гипса, трепела и клинкера потребуется для получения 10 т гидрофобного портландцемента. Установлено, что при помоле нужно вводить в мельницу 0,15% мылонафта от веса клинкера, 5% двуводного гипса и 10% трепела.

32. Образцы балочки (из цементного теста пластичной консистенции) размером  $4 \times 4 \times 16$  см испытаны на изгиб и половинки балочек - на сжатие. При испытании на изгиб были получены следующие результаты: 46,8; 51,0; 52  $\text{кг/см}^2$ . Разрушающая нагрузка при испытании на сжатие оказалась равной 8000, 7880, 8200, 8100, 8000 и 7900 кг. Установить марку портландцемента.

33. Через 28 дней твердения образцы-балочки размером  $4 \times 4 \times 16$  см, изготовленные 1) из портландцемента, 2) гидрофобного портландцемента, 3) сульфатостойкого портландцемента, 4) шлакопортландцемента и 5) сульфатостойкого пуццоланового цемента имели средние прочности при изгибе (среднее арифметическое из двух наибольших результатов испытания). Средняя прочность при сжатии (среднее арифметическое из четырех наибольших результатов испытания половинок балочек):

При изгибе	При сжатии
1. $68 \text{ кг/см}^2$	$430 \text{ кг/см}^2$
2. $43 \text{ кг/см}^2$	$310 \text{ кг/см}^2$
3. $53 \text{ кг/см}^2$	$295 \text{ кг/см}^2$
4. $32 \text{ кг/см}^2$	$189 \text{ кг/см}^2$
5. $36 \text{ кг/см}^2$	$230 \text{ кг/см}^2$

Определить марки цементов

34. Определить активность цемента, если при испытании стандартных образцов на изгиб в возрасте 12 суток получена прочность 4.9 МПа. Предполагается, что соотношение между прочностью на изгиб и на сжатие не выходит за пределы норм.



35. Какое количество гипса необходимо добавить к клинкеру, полученному из 25 тонн глины и 75 тонн известняка? Предположить, что известняк и глина примесей не содержат и используются на 100%.

36. Определить количество раствора хлористого магния и его истинную плотность для затворения магнезита с содержанием  $MgO$  – 85%. Для получения теста на основе магнезита требуется 52% воды по весу. Предполагаем, что весь свободный магнезит вступает в реакцию с хлористым магнием, образуя  $3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$ . Средняя плотность хлористого магния –  $1,60 \text{ г/см}^3$ .

37. Сколько нужно взять каустического доломита вместо 1 кг каустического магнезита, чтобы получить вяжущее вещество одинаковой активности. Каустический доломит содержит 8% примесей по массе.

38. Сухая сырьевая шихта для получения силикат-глыбы содержит 60% кварцевого песка и 40% кальцинированной соды. Песок содержит 96%  $SiO_2$ , остальное – примеси, а сода – 97%  $Na_2CO_3$ , остальное – примеси. При варке стекла улетучивается 5,1%  $Na_2O$ . Влажность шихты – 4%. Технологические потери при подготовке шихты составляют 0,5% от массы каждого компонента. Определить силикатный модуль и составить материальный баланс получения силикат глыбы. Рассчитать содержание примесей в силикат-глыбе (%).

39. Рассчитать расходные коэффициенты кальцинированной соды и кварцевого песка для получения 1 т силикат-глыбы с  $M_c = 2,8$ . Сода содержит 98%  $Na_2CO_3$ , остальное – примеси, песок – 98%  $SiO_2$ , остальное – примеси. Технологические потери песка при подготовке шихты – 0,8%, соды – 0,4%. Влажность сырьевой шихты – 3,5%. При варке улетучивается 5,6%  $Na_2O$ . Составить материальный баланс получения силикат-глыбы. Рассчитать содержание примесей в составе силикат-глыбы (%).

40. Рассчитать массу силикат-глыбы с  $M_c = 3$ , которую можно получить при использовании 1 т кварцевого песка, содержащего 95%  $SiO_2$  (остальное – примеси) и имеющего влажность 4%. Технологические потери при подготовке шихты – 0,3% от массы кальцинированной соды и 0,7% от массы песка. При варке улетучивается 4,8%  $Na_2O$ . Сода содержит 97%  $Na_2CO_3$ , остальное – примеси. Влажность сырьевой шихты – 4%. Составить материальный баланс получения силикат-глыбы. Рассчитать содержание примесей в составе силикат-глыбы (%).

41. Рассчитать массу силикат-глыбы с  $M_c = 3,5$ , которую можно получить при использовании 1 т поташа, содержащего 98%  $K_2CO_3$  (остальное – примеси). Песок содержит 97%  $SiO_2$  (остальное – примеси) и имеет влажность 3,5%. Технологические потери при подготовке шихты – 0,5% от массы песка и 0,3% от массы поташа. Влажность сырьевой шихты – 4,5%. При варке улетучивается 4,5%  $K_2O$ . Составить материальный баланс

получения силикат-глыбы. Рассчитать содержание примесей в составе силикат-глыбы (%).

42. Рассчитать, сколько  $\text{Na}_2\text{O}$  улетучивается при варке стекла (%), если для получения 1 т силикат-глыбы с  $M_c = 2,6$  расходуется 720 кг сухого песка, содержащего 98%  $\text{SiO}_2$  (остальное – примеси) и 513 кг кальцинированной соды, содержащей 99%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (остальное – примеси). Технологические потери при подготовке шихты – 0,2% от массы соды и 0,5% от массы песка. Влажность сырьевой шихты – 3,5%. Составить материальный баланс получения силикат-глыбы. Рассчитать содержание примесей в составе силикат-глыбы (%).

43. Сухая сырьевая шихта содержит 58% песка и 42% поташа. Песок содержит 98%  $\text{SiO}_2$ , остальное – примеси, а поташ – 98,5%  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , остальное – примеси. Технологические потери при подготовке шихты – 0,3% от массы поташа и 0,8% от массы песка. Влажность песка – 4%, сырьевой шихты – 4,5%. Потери при стеклообразовании составляют 15% от массы сухой шихты. Определить, сколько  $\text{K}_2\text{O}$  (%) улетучивается при варке. Рассчитать силикатный модуль силикат-глыбы и содержание в ней примесей. Составить материальный баланс получения силикат-глыбы.

44. Рассчитать расходные коэффициенты кальцинированной соды и кварцевого песка для получения силикат-глыбы с  $M_c = 3$ . Сода содержит 98,5%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , остальное – примеси, а песок – 96%  $\text{SiO}_2$ , остальное – примеси. Технологические потери при подготовке шихты – 0,5% от массы соды и 0,9% от массы песка. Песок имеет влажность 3%, а сырьевая шихта – 4,2%. Потери при стеклообразовании – 16,5% от массы сухой шихты. Определить, сколько  $\text{Na}_2\text{O}$  (%) улетучивается при варке. Рассчитать силикатный модуль силикат-глыбы и содержание в ней примесей. Составить материальный баланс получения силикат-глыбы.

45. Рассчитать объем жидкого стекла, полученного при растворении 1 т силикат-глыбы. Истинная плотность силикат-глыбы –  $2,45 \text{ г/см}^3$ , жидкого стекла –  $1,3 \text{ г/см}^3$ . В составе силикат-глыбы содержится 2,1% нерастворимых примесей. Составить материальный баланс процесса получения жидкого стекла.

46. Рассчитать расходные коэффициенты силикат-глыбы и воды для получения  $1 \text{ м}^3$  жидкого стекла с плотностью  $1,35 \text{ г/см}^3$ . Истинная плотность силикат-глыбы –  $2,48 \text{ г/см}^3$ . В составе силикат-глыбы содержится 1,9% нерастворимых примесей. Составить материальный баланс процесса получения жидкого стекла.

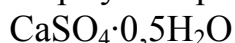
47. Для получения  $1 \text{ м}^3$  жидкого стекла используется 600 кг силикат-глыбы с истинной плотностью  $2,42 \text{ г/см}^3$ . В составе силикат-глыбы находится 2,3% нерастворимых примесей. Определить плотность и концентрацию раствора. Составить материальный баланс процесса получения жидкого стекла.

48. Рассчитать истинную плотность силикат-глыбы, если для получения 1 м<sup>3</sup> жидкого стекла с плотностью 1,39 г/см<sup>3</sup> используется 650 кг силикат-глыбы, в которой содержится 2,2% нерастворимых примесей. Составить материальный баланс процесса получения жидкого стекла.

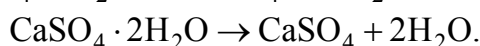
49. Рассчитать расходные коэффициенты кварцевого песка с содержанием свободного SiO<sub>2</sub> 97% (остальное – примеси) и влажностью 6%, и каустической соды с содержанием NaOH 98,5% (остальное – примеси) при получении жидкого стекла с Mc = 2,8. Составить материальный баланс процесса получения жидкого стекла с плотностью 1,35 г/см<sup>3</sup>, если истинная плотность силикат-глыбы, полученной при выпаривании раствора, составляет 2,48 г/см<sup>3</sup>, а технологические потери песка при его подготовке – 1,2%.

### 3. ФОРМУЛЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

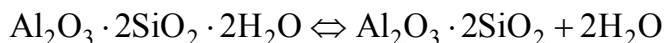
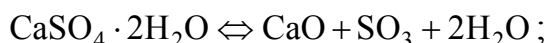
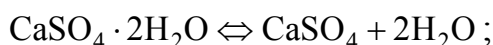
Формула строительного гипса:



Дегидратация гипса:



Реакции образования отдельных соединений в продукте при обжиге строительного гипса:



Коэффициент размягчения

$$K_p = \frac{R_{\text{сж}}^{\text{нас}}}{R_{\text{сж}}^{\text{сух}}}$$

где  $R_{\text{сж}}^{\text{нас}}$  – прочность образца в насыщенном состоянии, МПа;

$R_{\text{сж}}^{\text{сух}}$  – прочность образца в сухом состоянии, МПа.

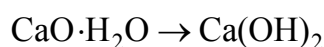
## Пористость

$$P_o = \frac{V_{\text{пор}}}{V_o}$$

где  $V_{\text{пор}}$  – объем пор, кг/м<sup>3</sup>;  
 $V_o$  – объем образца, кг/м<sup>3</sup>.  
Объем образца

$$V_o = V_a + V_{\text{пор}}$$

где  $V_a$  – абсолютный объем материала, кг/м<sup>3</sup>;  
 $V_{\text{пор}}$  – объем пор, кг/м<sup>3</sup>.  
Формула извести:



Выход извести (В) в процентах от массы сухого сырья устанавливается по формуле:

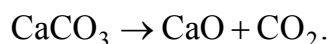
$$B = \text{CaO} + \text{MgO} + S + \text{П}(1 - x),$$

где  $\text{CaO} + \text{MgO}$  – содержание этих оксидов в сырье, %;  
S – суммарное содержание в сырье оксидов  $\text{SiO}_2 + \text{R}_2\text{O}$ , %;  
П – потери при прокаливании, %;  
x – степень декарбонизации, доли единицы.

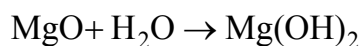
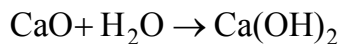
Теоретическая предельно достижимая активность при 100%-й декарбонизации

$$A_{\text{теор}} = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{CaO} + \text{MgO} + S}$$

Масса неразложившегося  $\text{CaCO}_3$ :



Реакции гидратации  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$ :



Содержание твердого вещества T, кг/м<sup>3</sup>, теста определяется из формулы

$$T = \frac{\alpha(\rho_{\text{об}} - 100)}{\alpha - 1},$$

где  $\alpha$  – истинная плотность твердого вещества, г/см<sup>3</sup>;  
 $\rho_{\text{об}}$  – плотность теста, кг/м<sup>3</sup>.

Низкоосновные гидросиликаты кальция типа  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

Общее содержание оксида кальция в составе извести

$$\text{CaO} = \text{CaO}_{\text{своб}} + \text{CaO}_{\text{связ}}$$

Гидравлический модуль извести :

$$\text{ГМ} = \frac{\% \text{CaO}}{\% (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)}.$$

Степень декарбонизации  $\text{CaCO}_3$  ( $\alpha$ ) = отношение массы разложившегося  $\text{CaCO}_3$  / масса исходного  $\text{CaCO}_3$

Основной модуль портландцементного клинкера

$$\text{ОМ} = \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

Силикатный модуль портландцементного клинкера

$$\text{СМ} = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

Глиноземный портландцементного клинкера

$$\text{ГМ} = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$$

Коэффициент насыщения цемента

$$K_{\text{H}} = \frac{\text{CaO} - 1,65\text{Al}_2\text{O}_3 - 0,35\text{Fe}_2\text{O}_3}{2,8\text{SiO}_2}$$

Степень гидратации цемента

$$C = \frac{V_{\text{г}}}{V_{\text{н}}}.$$

где  $V_{\text{г}}$  – объема гидратированного цемента,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$V_{\text{н}}$  – первоначальный объем цемента,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Реакции гидратации клинкеных минералов:

алита  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ;

белита  $2(3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2) + 6\text{H}_2\text{O} = 3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O} + 3\text{Ca}(\text{OH})_2$ ;

трехкальциевый алюминат  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{H}_2\text{O} = 3\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ;

четырекальциевый алюмоферит

$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 + 7\text{H}_2\text{O} = 3\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + \text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

Площадь поверхности частиц, содержащихся в 1 г:

$$S_{\text{уд}} = \frac{S_1 n_1 \cdot 1\% + S_2 n_2 \cdot 21\% + S_3 n_3 \cdot 24\% + S_4 n_4 \cdot 30\% + S_5 n_5 \cdot 24\%}{100},$$

где  $S_1, S_2, \dots, S_5$  – площадь поверхности одно частицы каждой фракции;

$n_1, n_2, \dots, n_5$  – количество частиц каждой фракции

Площадь сферических частиц:

$$S_i = \pi d_i^2; \quad n_i = \frac{1 \text{ г}}{\frac{\pi d_i^3}{6} \cdot \rho},$$

где  $i$  – порядковый номер фракции.

Прочность цементного камня в любой срок  $n$  в соответствии с логарифмическим законом возрастания прочности цементного камня:

$$R_n = R_{28} \frac{\lg n}{\lg 28}$$

Модуль активности шлака

$$M_A = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2}$$

Модуль основности шлака

$$M_O = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}.$$

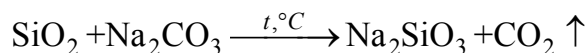
Определим коэффициент качества шлака:

$$K = \frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2} = \frac{49 + 9,52}{34 + 0,8} = 1,68.$$

Силикатный модуль натриевого жидкого стекла

$$M_s = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Na}_2\text{O}} \cdot 1,032,$$

Уравнение получения силиката натрия из оксида кремния и карбоната натрия:



Приближенная формула определения силикатного модуля жидкого стекла

$$n = \frac{A(\rho - 1)}{x \cdot 10\rho/m(1 - N\sqrt{x \cdot 10\rho/m})} - C,$$

где  $A$ ,  $N$  и  $C$  – константы, для натриевого жидкого стекла соответственно равные 24,88; 0,071 и 2,071;

$\rho$  – плотность жидкого стекла, г/см<sup>3</sup>;

$x$  – массовая доля оксида натрия, %;

$m$  – молекулярная масса щелочного оксида (для Na<sub>2</sub>O = 62).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мечай, А.А. Сборник задач по химической технологии вяжущих веществ и строительных материалов на их основе: учеб. пособие для студентов специальности 1-48 01 01 «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий» / А. А. Мечай, М. И. Кузьменков. – Мн.: БГТУ, 2006. – 58 с.
2. Скрамтаев Б.Г., Буров В.Д., Панфилова Л.И., Шубенкин П.Ф. Примеры и задачи по строительным материалам: учебное пособие/ под ред. П.Ф. Шубенкина . – М.: Высшая школа, 1970. – 232 с.
3. Бутт Ю.М. Практикум по химической технологии вяжущих материалов / Ю.М. Бутт, В.В. Тимашев. – М.: «Высшая школа», 1973. – 504 с.:
4. Методические указания и задания для контрольных работ для студентов заочного инженерного факультета / Сост. Н.С.Шелихов. – Казань: КГАСУ, 2008. 35 с.
5. Волженский, А.В. Вяжущие вещества [Текст] / А.В. Волженский. – М.: Стройиздат, 1986. – 426 с.
6. Сулименко, Л.М. Основы технологии вяжущих материалов. [Текст]: учеб. пособие / Л.М. Сулименко, В.Г. Савельев, И.Н. Тихомирова. – М.: РХТУ, 2001.– 167 с.
7. Пащенко, А.А. Вяжущие материалы [Текст] / А.А.Пащенко, В.П. Сербин, Е.А. Старчевская. – Киев: Вища школа, 1975.
8. Кузнецова, Т.В. Физическая химия вяжущих веществ [Текст] / Т.В. Кузнецова, И.В. Кудряшов, В.В. Тимашев. – М.: Высшая школа, 1989.
9. Калашников В.И., Коровкин М.О., Ерошкин Н.А. Вяжущие вещества [Текст]: учебное пособие. – Пенза: ПГУАС, 2015. – 152 с.
10. Русина, В.В. Минеральные вяжущие вещества на основе многотоннажных промышленных отходов [Текст]: учеб. пособие. – Братск: БрГУ, 2007. – 224 с.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1

#### Атомные веса некоторых химических элементов

Элемент	Символ	Порядковый номер в таблице Д.И. Менделеева	Атомная масса
Азот	N	7	14,0067
Алюминий	Al	13	26,9815
Барий	Ba	56	137,33
Бор	B	5	10,811
Бром	Br	35	79,904
Водород	H	1	1,00797
Гелий	He	2	4,0026
Железо	Fe	26	55,847
Золото	Au	79	196,967
Калий	K	19	39,098
Кальций	Ca	20	40,08
Кислород	O	8	15,9994
Кремний	Si	14	28,086
Литий	Li	3	6,941
Магний	Mg	12	24,305
Марганец	Mn	25	54,9380
Медь	Cu	29	63,54
Молибден	Mo	42	95,94
Натрий	Na	11	22,9898
Никель	Ni	28	58,70
Олово	Sn	50	118,69
Платина	Pt	78	195,09
Ртуть	Hg	80	200,59
Свинец	Pb	82	207,19
Сера	S	16	32,064
Серебро	Ag	47	107,868
Титан	Ti	22	47,90
Углерод	C	6	12,01115
Фосфор	P	15	30,9738
Фтор	F	9	18,9984
Хлор	Cl	17	35,453
Хром	Cr	24	51,996
Цинк	Zn	30	65,38



Физико-химические показатели жидкого стекла

Наименование показателя	Норма для жидкого стекла							
	А	Б	для литейного производства, замазок	для катализаторов, адсорбентов, электродов	для СМС и химических производств	для строительства и флотации	для клеев, пропиток	для бумажного производства
1. Внешний вид	Густая жидкость желтого или серого цвета без механических примесей и включений, видимых невооруженным глазом			Густая жидкость желтого или серого цвета без механических примесей и включений, видимых невооруженным глазом		Густая жидкость желтого или серого цвета		
2. Массовая доля двуокиси кремния, %	22,7 - 29,6	24,3 – 31,9	29,5 - 36,0	24,8 - 34,3	24,1 - 35,0	24,8 - 36,7	24,8 - 34,0	27,2 - 29,3
3. Массовая доля окиси железа и окиси алюминия, %, не более	0,25	0,25	0,25	0,25	0,20	0,90	0,30	0,25
в том числе окиси железа	Не регламентируется		-	-	0,05	Не регламентируется		
4. Массовая доля окиси кальция, %, не более	0,20	0,20	0,20	0,12	0,05	0,20	0,20	0,20
5. Массовая доля серного ангидрида, %, не более	0,15	0,15	0,15	0,07	0,07	0,15	0,15	0,15
6. Массовая доля окиси натрия, %	9,3 - 12,8	8,7 - 12,2	10,9 - 13,8	9,0 - 12,9	8,7 - 13,3	8,1 - 13,3	8,0 - 12,2	7,9 - 8,8
7. Силикатный модуль	2,3 - 2,6	2,6 - 3,0	2,6 - 3,0	2,7 - 2,9	2,6 - 3,0	2,7 - 3,3	2,7 - 3,4	3,4 - 3,6
8. Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,36 - 1,45	1,36 - 1,45	1,47 - 1,52	1,36 - 1,50	1,36 - 1,50	1,36 - 1,50	1,36 - 1,45	1,35 - 1,40

Приложение 3

Разновидности и свойства жидкого стекла

Наименование показателей	Вид жидкого стекла		
	содовое	содовосульфатное	сульфатное
Химический состав в %			
кремнезем ( $\text{SiO}_2$ )	32 – 34,5	28 – 32	28 – 32
окись железа и окись алюминия ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ ) не более	0,25	0,4	0,5
окись кальция ( $\text{CaO}$ ) не более	0,2	0,3	0,35
серный ангидрит ( $\text{S}_2\text{O}_3$ ) не более	0,18	1	1,5
окись натрия ( $\text{Na}_2\text{O}$ )	11 – 13,5	10 – 12	10 – 12
воды ( $\text{H}_2\text{O}$ ) не более	57	60	60
Модуль жидкого стекла	2,6 – 3	2,56 – 3	2,56 – 3
Удельный вес	1,5 – 1,55	1,43 – 1,5	1,43 – 1,5

Приложение 4

Взаимосвязь плотности, модуля и концентрации R<sub>2</sub>O

для натриевого жидкого стекла

Модуль жидкого стекла	Массовая доля, %			Плотность ρ, г/см <sup>3</sup>
	Na <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	Растворенного силиката	
2,00	1,5	2,8	4,2	1,036
	2,8	5,6	8,4	1,075
	5,6	11,3	16,9	1,16
	8,5	16,9	25,4	1,26
	11,3	22,6	33,9	1,38
	14,1	28,2	42,3	1,525
2,06	0,67	1,33	2	1,016
	2,67	5,33	8	1,073
	4,67	9,33	14	1,134
	6,67	13,33	20	1,200
	8,00	16,00	24	1,247
	10,00	20,00	30	1,321
	12,00	24,00	36	1,394
	15,00	30,00	45	1,52
	18,33	36,67	55	1,673
2,4	0,6	1,40	2	1,016
	1,80	4,20	6	1,052
	2,40	5,60	8	1,071
	3,00	7,00	10	1,09
	3,60	8,40	12	1,110
	4,20	9,80	14	1,130
	4,80	11,20	16	1,151
	8,29	19,64	27,93	1,287
2,44	9,25	21,92	31,17	1,327
	10,20	24,17	34,37	1,378
	10,82	25,64	36,46	1,397
	11,40	27,00	38,40	1,423
	11,98	28,39	40,37	1,453
	2,5	1,3	3,1	4,4
2,5		6,2	8,7	1,075
5,1		12,4	17,5	1,160
7,6		18,7	26,3	1,260
10,2		24,8	35,0	1,380
12,7		31,1	43,8	1,425
3,0		1,2	3,4	4,6
	2,3	6,9	9,2	1,075
	4,5	13,3	17,8	1,116
	6,9	20,6	27,5	1,260
	9,2	27,5	36,7	1,38
	11,5	34,4	45,9	1,525
	3,36	0,94	3,06	4
2,35		7,65	10	1,083
3,75		12,75	16	1,139
5,16		16,84	22	1,200
6,10		19,90	26	1,244
7,04		22,96	30	1,290
7,50		24,50	32	1,314
7,98		26,02	34	1,339

Приложение 5  
Взаимосвязь плотности, модуля и концентрации R<sub>2</sub>O  
для калиевого жидкого стекла

Модуль жидкого стекла	Массовая доля, %			Плотность ρ, г/см <sup>3</sup>
	K <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	Растворенного силиката	
2,7	6,24	10,75	16,99	1,150
	6,99	12,04	19,03	1,169
	7,83	13,49	21,32	1,193
	8,76	15,11	23,87	1,218
	9,29	16,02	25,31	1,238
	9,85	16,98	26,83	1,255
	10,44	18,00	28,44	1,272
	11,07	19,08	30,15	1,292
	11,74	20,22	31,96	1,316
3,0	5,81	11,14	16,95	1,149
	6,51	12,47	18,98	1,169
	7,29	13,97	21,26	1,194
	7,73	14,81	22,54	1,206
	8,66	16,59	25,25	1,234
	9,19	17,58	26,77	1,251
	9,74	18,64	23,38	1,269
	10,32	19,77	30,09	1,291
	10,94	20,96	31,90	1,314
3,3	5,37	11,34	16,71	1,137
	5,81	12,24	18,05	1,150
	6,79	14,28	21,07	1,179
	7,34	15,46	22,80	1,196
	7,94	16,72	24,66	1,224
	8,59	18,09	26,68	1,245
	9,29	19,57	28,86	1,271
	9,86	20,76	30,62	1,292
	10,06	21,17	31,23	1,300
	10,23	21,62	31,85	1,310
3,54	4,96	11,21	16,17	1,143
	6,15	13,90	20,05	1,163
	6,89	15,57	22,46	1,188
	7,72	17,44	25,16	1,214
	8,18	18,49	26,67	1,229
	8,67	19,60	28,27	1,245
	9,19	20,78	29,97	1,263
	9,74	22,03	31,77	1,284
	10,33	23,35	33,68	1,308

Приложение 6

Плотность растворов гидроксида натрия (NaOH) при 20°C

ПЛОТНОСТЬ Г/МЛ	%	Г/Л	МОЛЬ/Л	ПЛОТНОСТЬ Г/МЛ	%	Г/Л	МОЛЬ/Л
1,0095	1	10,10	0,2525	1,2848	26	334,0	8,351
1,0207	2	20,41	0,5103	1,2956	27	349,8	8,746
1,0318	3	30,95	0,7738	1,3064	28	365,8	9,146
1,0428	4	41,71	1,043	1,3172	29	382,0	9,551
1,0538	5	52,69	1,317	1,3279	30	398,4	9,960
1,0648	6	63,89	1,597	1,3385	31	414,9	10,37
1,0758	7	75,31	1,883	1,3490	32	431,7	10,79
1,0869	8	86,95	2,174	1,3593	33	448,6	11,22
1,0979	9	98,81	2,470	1,3696	34	465,7	11,64
1,1089	10	110,9	2,773	1,3798	35	482,9	12,07
1,1199	11	123,2	3,080	1,3900	36	500,4	12,51
1,1309	12	135,7	3,393	1,4001	37	518,0	12,95
1,1420	13	148,5	3,713	1,4101	38	535,8	13,40
1,1530	14	161,4	4,035	1,4201	39	553,8	13,85
1,1641	15	174,6	4,365	1,4300	40	572,0	14,30
1,1751	16	188,0	4,701	1,4397	41	590,3	14,76
1,1862	17	201,7	5,040	1,4494	42	608,7	15,22
1,1972	18	215,5	5,388	1,4590	43	627,4	15,69
1,2082	19	229,6	5,740	1,4685	44	646,1	16,15
1,2191	20	243,8	6,095	1,4779	45	665,1	16,63
1,2301	21	258,3	6,458	1,4873	46	684,2	17,11
1,2411	22	273,0	6,825	1,4969	47	703,5	17,59
1,2520	23	288,0	7,201	1,5065	48	723,1	18,08
1,2629	24	303,1	7,578	1,5159	49	742,8	18,57
1,2739	25	318,5	7,963	1,5253	50	762,7	19,07

## Плотность растворов гидроксида калия (KOH) при 20°C

ПЛОТНОСТЬ Г/МЛ	%	Г/Л	МОЛЬ/Л	ПЛОТНОСТЬ Г/МЛ	%	Г/Л	МОЛЬ/Л
1,0074	1	10,07	0,1795	1,2466	26	324,1	5,776
1,0165	2	20,33	0,3623	1,2567	27	339,3	6,047
1,0257	3	30,77	0,5484	1,2669	28	354,7	6,322
1,0348	4	41,39	0,7377	1,2774	29	370,4	6,601
1,0440	5	52,20	0,9303	1,2879	30	386,4	6,887
1,0531	6	63,19	1,126	1,2985	31	402,5	7,174
1,0624	7	74,37	1,325	1,3091	32	418,9	7,466
1,0717	8	85,74	1,528	1,3197	33	435,5	7,762
1,0811	9	97,30	1,734	1,3304	34	452,3	8,061
1,0904	10	109,0	1,943	1,3412	35	469,4	8,366
1,0998	11	121,0	2,157	1,352	36	486,7	8,674
1,1092	12	133,1	2,372	1,3629	37	504,3	8,988
1,1187	13	145,4	2,592	1,3738	38	522,0	9,303
1,1283	14	158,0	2,816	1,3848	39	540,1	9,626
1,1379	15	170,7	3,042	1,3959	40	558,4	9,952
1,1475	16	183,6	3,272	1,4071	41	576,9	10,28
1,1572	17	196,7	3,506	1,4183	42	595,7	10,62
1,1669	18	210,0	3,743	1,4296	43	614,7	10,96
1,1766	19	223,6	3,985	1,4409	44	634,0	11,30
1,1864	20	237,3	4,229	1,4524	45	653,6	11,65
1,1963	21	251,2	4,477	1,4639	46	673,4	12,00
1,2062	22	265,4	4,730	1,4755	47	693,5	12,36
1,2162	23	279,7	4,985	1,4871	48	713,8	12,72
1,2263	24	294,3	5,245	1,4988	49	734,4	13,09
1,2364	25	309,1	5,509	1,5106	50	755,3	13,46

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ.....	4
2. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ .....	6
3. ФОРМУЛЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ.....	11
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	15
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	16

Учебное издание

Калашников Владимир Иванович  
Коровкин Марк Олимпиевич  
Ерошкина Надежда Александровна

### ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

Методические указания для самостоятельных работ  
по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство»

В авторской редакции  
Верстка Т.Ю. Симутина

---

Подписано в печать 12.10.15. Формат 60×84/16.  
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.  
Усл.печ.л. 1,39. Уч.-изд.л. 1,5. Тираж 80 экз.  
Заказ № 372.

---

Издательство ПГУАС.  
440028, г.Пенза, ул. Германа Титова, 28