



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**УТВЕРЖДАЮ**

**Директор ИШНПТ**

**К.К. Манабаев**

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ  
ГИПСОЦЕМЕНТНО-ПУЦЦОЛАНОВОГО ВЯЖУЩЕГО**

Методические указания к выполнению лабораторной и  
самостоятельной работы по курсу

**«Технологии силикатных композиционных материалов»**

для студентов направления подготовки **магистров**

**18.04.01 Химическая технология**

**УДК 936.5:546.284**

**Определение свойств гипсоцементно-пуццоланового вяжущего**

Методические указания к выполнению лабораторной и самостоятельной работы по курсу «Технологии силикатных композиционных материалов» для студентов направления подготовки магистров 18.04.01 Химическая технология

Томск: Изд. ТПУ, 2022. - 12 с.

**Составитель: к.т.н. Сударев Е.А.**

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к  
изданию методическим семинаром НОЦ Н.М Кижнера  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

Заведующий кафедрой - руководитель  
научно-образовательного центра  
на правах кафедры, д.х.н, профессор \_\_\_\_\_ Е.А. Краснокутская

*Рецензент*

Доктор технических наук, профессор ТПУ  
*В.И. Верещагин*

© Составление ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2022  
© Сударев Е.А., составление 2022

## 1. Общие теоретические сведения

Как известно вяжущие полученные на основе портландцементного клинкера медленно схватываются и твердеют. Производство их сложно и дорого. В противоположность их гипсовые вяжущие, хотя и не водостойки, быстро схватываются и твердеют; производство их простое и дешевое.

Получить смешанное вяжущее на основе портландцемента и гипса всегда было заманчиво. Но, начав, твердеть, такое смешанное вяжущее вскоре разрушалось в результате образования высокоосновного гидросульфоалюмината кальция, кристаллизующегося с большим количеством воды и значительным увеличением объема.

Профессором МИСИ им. Куйбышева (в настоящее время - НИУ МГСУ) Волженским А.В. с коллегами было разработано смешанное вяжущее, обладающее достоинствами цемента, гипса и в значительной мере лишенное их недостатков, такое вяжущее получило название - **гипсоцементно-пуццолановое вяжущее (ГЦПВ)**.

*Гипсоцементно-пуццолановым вяжущим (ГЦПВ)* называется быстросхватывающееся и быстротвердеющее вяжущее вещество, получаемое путем тщательного перемешивания взятых в определенных соотношениях гипса, портландцемента и активной минеральной добавки.

Физико-химические и физико-механические свойства ГЦПВ в значительной мере зависят от его состава, который подбирается с учетом качества исходных материалов.

В настоящее время используются гипсоцементно-пуццолановые вяжущие примерно следующего состава (% по массе):

Полуводный гипс . . . . .	<b>75-50</b>
Портландцемент . . . . .	<b>15-25</b>
Пуццолановая добавка (трепел, опока, диатомит, микрокремнезем) активностью не менее 200 мг/г . . .	<b>10-25*</b>

\* При активности добавки менее 200 мг/л ее содержание удваивается.

### 1.1 Твердение ГЦПВ

При твердении вяжущих из смеси гипса, портландцемента и пуццолановой добавки роль последней сводится вначале к снижению концентрации гидроксида кальция в водной среде до такого уровня, при котором нарушаются условия стабильного существования высокоосновных гидроалюминатов кальция ( $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$  и  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) и создаются предпосылки к переходу их в более устойчивые низкоосновные. При этом  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и  $\text{SiO}_2$  дают гидросиликаты

типа CSH(B), по Р. Боггу, или C-S-H(I), по Х. Тейлору.

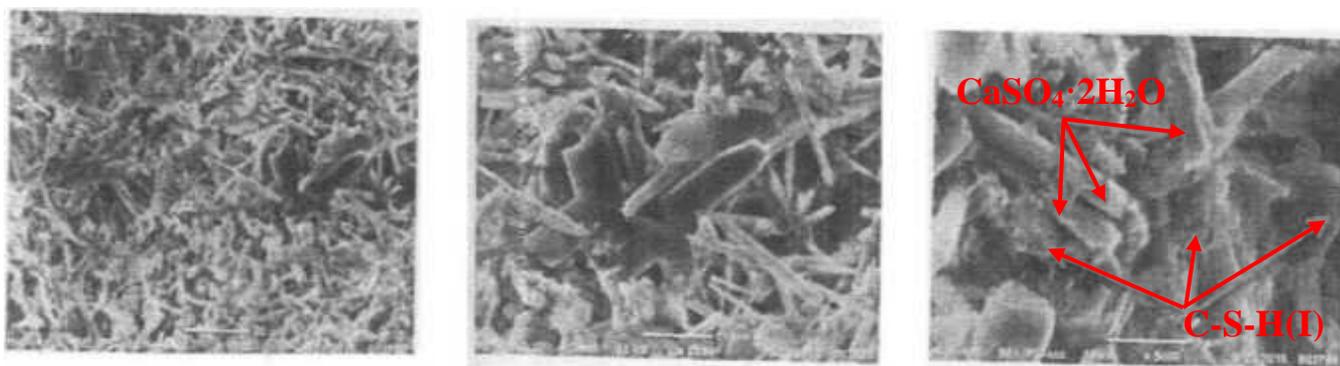
Такой ход реакции предопределяет неустойчивость трехсульфатной формы гидросульфатоалюмината кальция, который образуется в начальной стадии твердения, прекращение его дальнейшего образования, а возможно, и разложение. В последнем случае образуется, по-видимому, односульфатная форма  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaSO}_4\cdot 12\text{H}_2\text{O}$ , гидрогранаты  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot n\text{SiO}_2\cdot(6-2n)\text{H}_2\text{O}$ , гидросиликоалюминат  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaSiO}_3\cdot 12\text{H}_2\text{O}$ , гипс  $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и их твердые растворы.

Переход этtringита в односульфатную форму по схеме:



сопровождается уменьшением абсолютного объема твердой фазы исходного вещества в **1,55** раза и образованием воды в жидком виде. Это способствует значительному снижению опасных напряжений, которые могли вначале возникнуть в твердеющей системе вследствие образования этtringита. Таким образом, **активный кремнезем пуццолановых добавок** может входить в состав гидроалюмосиликатов указанного состава, не опасных для устойчивости системы [1].

Микрофотографии ГЦПВ после 28 суток твердения в воздушно-влажных условиях представлены на **рис.1**.



**Рис.1.** Микроструктура ГЦПВ

Как видно из рис.1, структура ГЦПВ в основном представлена кристаллами  $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , обволоченными гелеобразными пластинками низкоосновных гидросиликатов, образующихся при гидратации цемента.

### 1.1 Получение изделий на основе ГЦПВ

Из ГЦПВ, изготовленных на основе строительного гипса, и портландцемента марки 400 (по ГОСТ 31108-2016) и выше можно получать обычные бетоны марок до 15-20 МПа в зависимости от расхода вяжущего ( $300-450 \text{ кг/м}^3$ ) и подвижности

бетонных смесей. Коэффициент их размягчения **0,6-0,8**. Прочность этих бетонов через 2-3 ч после изготовления достигается 30-40 % марочной.

Бетоны из ГЦПВ с использованием  $\alpha$ -гипса имеют через **2-3 ч** прочность на сжатие **10-12 МПа**, а через **7-15 сут** нормального твердения – **30-40 МПа**. Эти бетоны характеризуются примерно теми же упругопластическими свойствами, что и бетоны на портландцементе равных по прочности марок. Весьма интенсивно твердеют ГЦПВ на высокомарочном гипсе и особо быстротвердеющем цементе марок 500 и 600.

## 2. Лабораторная работа

**Цель работы:** изучить влияние состава гипсоцементно-пуццоланового вяжущего на его свойства.

### **Методика выполнения работы:**

Гипсоцементно-пуццолановое вяжущее готовят, тщательно смешивая его компоненты в шаровой мельнице в течение **15-30 мин**. Для проведения работы необходимо приготовить **2 кг** вяжущего каждого состава.

Каждая подгруппа студентов должна определить свойства ГЦПВ одного состава, указанного преподавателем, а именно:

- тонкость помола;
- нормальную густоту теста;
- сроки схватывания;
- предел прочности при сжатии;
- водостойкость (по величине коэффициента размягчения).

### 2.1 Определение тонкости помола ГЦПВ

Пробу используемого вяжущего в количестве около **100 г** помещают в фарфоровую чашку и высушивают в сушильном шкафу при температуре **55-60 °С** в течение **1 часа**. Чашку с высушенной пробой переносят в эксикатор и охлаждают до температуры помещения **20±5 °С**. На технических весах отвешивают навеску в **50 г** с точностью до **±0,1 г**. Навеску высыпают на сито с доньшком, сито закрывают крышкой и ГЦПВ просеивают вручную или весь комплект устанавливают в прибор для механического просеивания.

При ручном просеивании комплект встряхивают возвратно-поступательными движениями, держа сито в наклонном положении и постепенно поворачивая его вокруг вертикальной оси.

Через **5-7 мин** просеивание прекращают, доньшко осторожно снимают и

высыпают на листок бумаги прошедший через сито вяжущее. Для того чтобы уменьшить забивание сетки, ее прочищают с нижней стороны мягкой кистью, при этом сито держат горизонтально, иначе вяжущее может высыпаться через бортик сита. После прочистки сетки сито вновь вставляют в донышко и продолжают просеивание.

Для проверки тщательности просеивания снимают крышку, вынимают сито с содержащимся в нем остатком и просеивают остаток над листом глянцевой бумаги или кальки в течение **1 мин.** Просеянные на листок бумаги частицы вяжущего собирают и взвешивают. Просеивание вяжущего считают законченным, если при контрольном просеивании на листок бумаги сквозь сито проходит не более **0,05 г** вяжущего.

Остаток ГЦПВ из сита высыпают в фарфоровую чашку и взвешивают на технических весах с точностью до **0,01 г.** Разность между массой чашки с остатком и массой пустой чашки дает массу остатка.

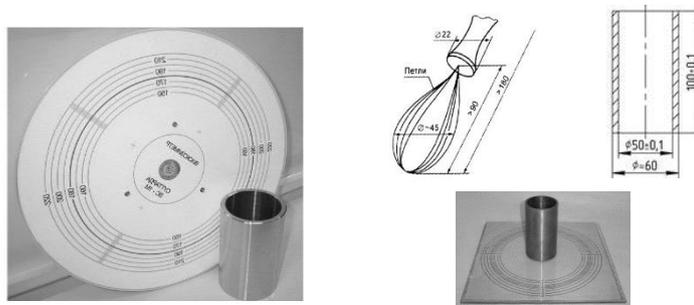
Тонкость помола ГЦПВ определяется отношением массы остатка на сите **№008** к первоначальной массе просеиваемой пробы и выражается в процентах с точностью до **0,1 %.**

## 2.2 Определение нормальной густоты и сроков схватывания теста из гипсоцементно-пуццоланового вяжущего

**Нормальную густоту** гипсоцементно-пуццоланового теста выражают в процентах как отношение массы воды к массе ГЦПВ.

Сущность метода количественной оценки значения нормальной густоты состоит в измерении диаметра расплаву гипсового гипсоцементно- пуццоланового теста, вытекающего из цилиндра при его поднятии на вискозиметре Сутгарда (рис.2).

Диаметр расплава гипсоцементно-пуццоланового теста нормальной густоты при испытании на вискозиметре Сутгарда равен **180±5 мм.**



**Рис.2.** Вискозиметр Сутгарда

Перед испытаниями внутренняя поверхность цилиндра и поверхность стекла

протирается увлажненной тканью.

На технических весах отвешивается навеска ГЦПВ массой **400 г**. В чашку для приготовления гипсоцементно-пуццоланового теста вливается вода (начинают эксперимент с **50-60 %** воды от массы исходной навески ГЦПВ), включается секундомер и затем за **2-5 секунд** высыпается 400 г гипсового вяжущего при интенсивном перемешивании гипсоцементно-пуццоланового теста венчиком в течение **30 секунд**. После окончания перемешивания гипсоцементно-пуццолановое тесто выкладывается в цилиндр, установленный в центре окружностей, поверхность гипсоцементно-пуццоланового теста в цилиндре выравнивается линейкой или ножом и удаляются излишки теста. Через **15 секунд** после окончания перемешивания гипсоцементно-пуццоланового теста (или 45 сек с момента затворения) цилиндр поднимается вертикально вверх на высоту **15-20 см**, гипсоцементно-пуццолановое тесто выливается на стекло прибора. Затем проводится измерение диаметра расплыва гипсоцементно-пуццоланового теста в двух взаимно перпендикулярных направлениях с погрешностью не более **5 мм** и вычисляется его среднеарифметическое значение. Если диаметр расплыва гипсоцементно-пуццоланового теста отличается от **180±5 мм**, эксперимент повторяется при изменении количества воды затворения.

**Нормальная густота** гипсоцементно-пуццоланового теста и водогипсоцементно-пуццолановое отношение рассчитываются по формулам:

$$НГ = M_{\text{воды}} \cdot 100 / M_{\text{ГЦПВ}}, \%$$

где  $M_{\text{воды}}$  - количество воды затворения ГЦПВ при расплыве гипсоцементно-пуццоланового теста **180 ± 5 мм, мл;**

$M_{\text{ГЦПВ}}$  - масса навески гипсоцементно-пуццоланового вяжущего, г.

$$В/ГЦПВ = M_{\text{воды}} / M_{\text{ГЦПВ}}.$$

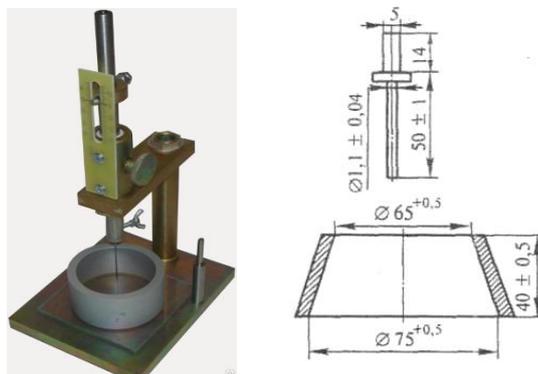
### **Определение сроков схватывания ГЦПВ**

При взаимодействии ГЦПВ с водой происходит постепенное уменьшение пластичности гипсоцементно-пуццоланового теста, оно загустевает и уплотняется, это соответствует *началу процесса схватывания* гипсоцементно-пуццоланового теста. Со временем гипсоцементно-пуццолановая масса теряет свою пластичность полностью, становится практически неподвижной и еще более уплотняется и упрочняется, это соответствует *концу процесса схватывания* гипсоцементно-пуццоланового теста.

Сроки схватывания ГЦПВ зависят от нескольких факторов, наиболее важные из которых: виды вяжущих веществ и активных минеральных добавок, их процентное соотношение в составе ГЦПВ, водогипсоцементно-пуццолановое

отношение, тонина помола и др.

Сроки схватывания ГЦПВ определяются на приборе Вика (рис.3), масса подвижной части которого вместе с иглой должна быть  $120 \pm 1$  г.



**Рис.3.** Прибор Вика ОГЦ-1

Перед началом испытаний проверяется нулевое показание прибора при опускании подвижного стержня в тесто до дна формы-конуса и фиксировании нулевого значения на шкале прибора.

Форма перед заполнением гипсоцементно-пуццолановым тестом слегка смазывается машинным маслом.

В металлическую или фарфоровую чашку наливается вода в количестве, необходимом для получения теста нормальной густоты из расчета на **200 г** ГЦПВ, взвешенного с точностью до **1,0 г**. Включается секундомер (начинается отсчет времени от начала затворения ГЦПВ) и одновременно всыпается навеска ГЦПВ, смесь быстро перемешивается ложкой или лопаточкой.

Всыпать ГЦПВ надо по возможности равномерно в течение **30 с**. После этого массу немедленно выливают в форму (усеченный конус) прибора Вика, избыток срезают ножом и выравнивают поверхность. Для удаления вовлеченного воздуха гипсоцементно-пуццолановое тесто в форме встряхивается **4-5 раз**.

Форма помещается под иглу прибора Вика, затем игла прибора доводится до соприкосновения с поверхностью гипсоцементно-пуццоланового теста в форме и закрепляется винтом подвижного стержня.

Испытания проводятся через каждые **30 с** - игла опускается в гипсоцементно-пуццолановое тесто каждый раз в новое место. После погружения игла тщательно вытирается.

При этом отмечают два момента: первый, когда игла не доходит до дна формы, и второй, когда игла опускается в тесто не более чем на **0,5-1 мм**.

*За начало схватывания* гипсоцементно-пуццоланового теста принимается период времени от момента затворения ГЦПВ водой до момента, когда свободно опущенная игла после погружения в тесто первый раз не дойдет до поверхности

стеклянной пластинки (до дна формы).

*За конец схватывания* гипсоцементно-пуццоланового теста принимается период времени с момента затворения ГЦПВ водой до момента, когда свободно опущенная игла погружается в тесто на глубину не более **0,5-1 мм** от поверхности.

Сроки схватывания ГЦПВ выражают в минутах.

### **2.3 Изготовление образцов на основе ГЦПВ и испытание их на прочность**

Каждая подгруппа студентов должно изготовить 12 образцов-кубиков размером 20×20×20 мм. Для изготовления образцов пробу ГЦПВ в течение **5-20 с** засыпают в чашку с водой в количестве, необходимом для получения теста нормальной густоты. После засыпания вяжущего смесь следует интенсивно перемешать ручной мешалкой в течение **60 с** до получения однородного теста, которым заливают форму. Для удаления вовлеченного воздуха после заливки форму встряхивают **5 раз**, поднимая ее на высоту **8-10 мм** за торцы и опуская. После наступления начала схватывания поверхность образцов необходимо выровнять металлической линейкой. Через **1,5-2 часа** с момента изготовления образцы вынуть из формы и хранить в течение суток в камере с гидравлическим затвором (воздушно-влажные условия).

*Первый способ:* после твердения образцов в течение суток воздушно-влажных условиях, образцы извлекаются из камеры с гидравлическим затвором, а затем пропариваются при **70-80 °С** (режим пропаривания 2+6+3ч) при такой тепловлажностной обработке (**ТВО**) прочность составляет **70-90 %** от конечной.

*Второй способ:* после твердения образцов в течение суток воздушно-влажных условиях, образцы извлекаются из камеры с гидравлическим затвором и хранят в условиях нормального твердения **7-14 суток**.

После чего образцы-кубики подвергают испытанию на прочность при сжатии на прессе **ПГМ-100МГ4**. Каждый образец помещают между пластинками прессы, располагая их боковыми гранями на плоскостях пластин.

Предел прочности при сжатии отдельного образца вычисляют по формуле:

$$R_{сж} = \mu \cdot K / S_{обр}, \text{ кгс/см}^2 \text{ (МПа)}$$

$\mu$  - показания электронного датчика, мВ

$K$  - коэффициент,  $K = 38,2 \text{ кг/мВ}$

$S_{обр}$  - площадь образца,  $\text{см}^2$

Предел прочности при сжатии образцов каждого состава вычисляют как среднее арифметическое из четырех наибольших результатов испытаний шести

образцов.

## 2.4 Определение коэффициент размягчения ГЦПВ

Образцы испытывают через **7-14 суток** с момента изготовления. Испытывают три образца, высушенных до постоянной массы при температуре не выше **65 °С** в течение **1-2 часа**, и три образца после **48 часов** в водонасыщенном состоянии.

**Коэффициент размягчения** определяют по формуле:

$$K_p = R_{сж}^{нас} / R_{сж}^{сух},$$

где  $R_{сж}^{нас}$  - предел прочности при сжатии образцов насыщенных водой, МПа

$R_{сж}^{сух}$  - предел прочности при сжатии образцов, высушенных до постоянной массы, МПа.

Материалы у которых  $K_p \geq 0,8$  можно применять во влажных условиях без специальных мер по защите их от увлажнения.

## 2.5 Обработка результатов испытаний и выводы

Данные всех подгрупп студентов записываются в одну сводную таблицу 1, анализируются и делаются выводы о свойствах ГЦПВ в зависимости от его состава.

**Таблица 1.** Свойства ГЦПВ в зависимости от состава

№	Вид добавки	Состав ГЦПВ, %			Тп, %	НГ, %	Сроки схватывания, мин		$R_{сж}$ , МПа	$K_p$
		Гипс	Цемент	Акт. добавка			начало	конец		
1										

## **Литература:**

1. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества. - М.: Стройиздат, 1986. - 471 с.
2. Лотов В.А. Технология материалов на основе силикатных дисперсных систем. - Томск: Изд-во ТПУ, 2006. - 202 с.
3. Смиренская В.Н., Антипина С.А., Соколова С.Н. Химическая технология вяжущих материалов. Учебное пособие. - Томск. ТПУ, 2010. - 200 с.
4. Секерина Н.В. Сборник лабораторных работ по курсу «Вяжущие вещества». - Казань: Изд-во КГ АСУ, 2005. - 35 с.
5. ГОСТ 125-2018. Вяжущие гипсовые. Технические условия. - 12 с.
6. ГОСТ 23789-2018. Вяжущие гипсовые. Методы испытаний. - 15 с.

Учебное издание

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ  
ГИПСОЦЕМЕНТНО- ПУЦЦОЛАНОВОГО ВЯЖУЩЕГО**

Методические указания к выполнению лабораторной и самостоятельной работы по курсу «Технологии силикатных композиционных материалов» для студентов направления подготовки магистров  
**18.04.01 Химическая технология**

*Составитель*

**Сударев Евгений Александрович**

Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии с качеством представленного оригинал-макета

Подписано к печати 27.05.2022. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».  
Печать XEROX. Усл.печ.л. 9,01. Уч.-изд.л. 8,16.  
Заказ . Тираж 20 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества  
Издательство Томского политехнического университета сертифицирована  
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2018



**ИЗДАТЕЛЬСТВО**  **ТПУ** . 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30 Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru