DOI: 10.24892/RIJIE/20250410

# Определение физико-механических характеристик органоминеральных композитов на основе растительных волокон и гипса*

Чащилов Д.В., Савин Д.А.
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем химико-энергетических технологий» Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН)
г. Бийск, Российская Федерация
dmitry.chashchilov@mail.ru

Григоренко А.В.
Акционерное общество «Федеральный научно-производственный центр «Алтай»
г. Бийск, Российская Федерация
labmineral@mail.ru

Манухина К.С., Павлов И.Н.
Бийский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»
г. Бийск, Российская Федерация
mahipp@bti.secna.ru

***Аннотация.*** **Органоминеральные материалы на основе гипса обладают повышенной огнестойкостью. Проблемой является ограниченность данных о механических свойствах таких материалов. Актуальность проблемы обусловлена перспективным использованием растительного сырья, как армирующего наполнителя композитов. Научным аспектом этой же проблемы является сравнение механических свойств образцов органоминеральных композитов на основе различных видов армирующих наполнителей. В работе проведено исследование механических свойств при сжатии образцов гипсоволокнистых композитов на основе хлопковой и древесной целлюлозы Образцы целлюлозы механически распушены. Для определения механических характеристик использована универсальная разрывная машина Р-0,5. Испытаны по три параллельных образца. Экспериментально получены экспериментальные образцы гипсоволокнистых композитов с армированием обработанными растительными волокнами. Получены, для органоминеральных композитов на основе ХЦ и ДЦ, соответственно, значения предела прочности при сжатии σ=3,0±0,1 МПа и σ=2,7±0,1 МПа модуль продольной упругости при растяжении Е=10,10±0,0,34 ГПа, Е=7,69±0,37 ГПа, предельное относительное удлинение при разрушении ε=25,9±1,7 % и ε=26,2±3,1 %. Показано, что использование хлопковой целлюлозы позволяет увеличить отдельные механические свойства, в частности, предел прочности при сжатии, увеличивается примерно на 9%, модуль продольной упругости возрастает на 31%. Результаты настоящего исследования могут быть применены для получения органоминеральных композитов на основе гипса и растительных волокон. Например, возможно использование такого материала в качестве теплоизоляционного или звукоизоляционного материала в различных строительных конструкциях или в строительных изделиях.**

***Ключевые слова:*** **растительные волокна, гипс стрительный, армирующий наполнитель, композиционные материалы, предел прочности, модуль упругости, предельная деформация, кажущаяся плотность.**

## Введение

Гипс давно известен, как распространенный строительный материал. Он является связующим и содержит кристаллизационную воду. При повышении температуры, выше температуры фазового перехода, вода начинает выделяться. Это свойство позволяет создавать негорючие строительные изделия на основе гипса.

Исторически, гипс - это один из наиболее давно применяемых человеком материалов. Гипс - мягкий материала, легко поддается обработке. Он широко использовался для изготовления различных предметов интерьера, путём механической обработки. Сейчас различные изделия из гипса обычно получают путем мокрого формования и последующего твердения водогипсовой смеси. Вода, как правило, при этом берется в избытке, сверх стехиометрического соотношения. Это целесообразно для повышения формуемости и пластичности смеси [1]. Различные гипсовые смеси применяются, как вяжущее в распространенных строительных материалах, таких, как гипсокартонные и гипсоволокнистые листах. Также из гипса создают профильные декоративные изделия – лепнину, применяемую в качестве декоративного оформления интерьеров.

Преимущества гипса, как связующего – удобство приготовления смесей, сравнительно быстрое твердение. Получаемая при этом поверхность изделий – чистая и гладкая. Изделия пригодны к механической обработке. Специфическая особенность гипса, как было отмечено выше – частичная потеря кристаллизационной воды, при превышении температуры фазового перехода, что хорошо обеспечивает повышенную огнестойкость изделий.

Относительные недостатки гипса – низкая водостойкость, невысокая механическая прочность, хрупкость. Типичным является применение для гипса разных наполнителей. Классически, применяют добавки с высокими теплоизоляционными свойствами [1, 2]. Это позволяет снизить, как коэффициент теплопроводности, так и кажущуюся плотность. Для этого практикуется использование минеральных добавок, например, силикатных микросфер вермикулита, перлита слюды. В частности, добавка слоистые силикаты увеличивает жесткость минеральной матрицы [3]. Также, наоборот, применяют добавки материалов с высоким коэффициентом теплопроводности, например, синтетического или природного порошкового графита [4].

* Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ для ИПХЭТ СО РАН, № государственной регистрации 124021200031-4, при использовании оборудования Бийского регионального центра коллективного пользования СО РАН (ИПХЭТ СО РАН, г. Бийск). Статья публикуется по рекомендации программного комитета Всероссийской научно-технической конференции "Пром-Инжиниринг", https://icie-rus.org

Применение стеклянных микросфер позволяет получить материал с низкой кажущейся на уровне 400 кг/м$^3$, а также с низким коэффициентом теплопроводности [5]. Для повышения прочности изделий на сжатие и изгиб практикуют добавки суперпластификатора [6, 7].

Возможно использование искусственных минеральных волокон [8]. Например, фибра – армирующий наполнитель, расположенный хаотично в толще минеральной матрицы [9]. Применимы базальтовые или кварцевые волокна [10]. Используют также стеклянные волокна [11, 12]. В последнем случае, возможно повторное использование стекловолокон, получаемых при переработке изделий из стеклопластика [13]. Особенностью использования вторичных минеральных волокон является низкая межфазная прочность матрицы и наполнителя [14].

Волластонит, природный минерал волокнистого строения, с игольчатыми кристаллами [15], широко используется в качестве армирующего наполнителя для различных композиций [16]. Примечательно, что как волластонит, так и гипс являются минералами на основе кальция, соответственно, силикат и сульфат. Это может способствовать химическому сродству таких матрицы и наполнителя. Помимо природного волластонита находит применение и синтетический волластонит, получаемый посредством химического синтеза.

Интересно, что из волластонита, по одному из вариантов, возможно получение ангидрита. Ангидрит является химическим прекурсором гипса, получаемого посредством непрямой минеральной карбонизации. Для этого проводят термическую обработку (обжиг и выщелачивание [17]). В роли экстрагента используют водный раствор сульфата аммония. Технология отличается небольшой эмиссией двуокиси углерода. Также, при обработке фосфорных минералов, при выработке фосфорных удобрений, появляется побочный продукт – фосфогипс [18]. Последний также может быть применен для прямой минеральной карбонизации. Это позволяет обеспечить связывание углекислого газа в целях снижения его эмиссии [19].

Базальтовое волокно также применимо, как армирующий наполнитель гипсовых изделий. Например, вместе с добавкой диатомита, базальтовое волокно позволяет улучшить механические свойства гипсоволокнистых образцов на изгиб и сжатие, проявляясь в широком диапазоне температур [20]. Наличие базальтового волокна модифицирует рост гипсовых кристаллов. Применение диатомита понижает коэффициент теплопроводности изделия.

Применяют также органические волокна для армирования гипса [21]. Так, штапельное волокно из полипропилена повышает механическую прочность гипсовых изделий. Гидрофильные в поливинилового спирта, могут также улучшенную адгезию с гипсовой матрицей [22].

Типичным армирующим наполнителем для гипсоволокнистых изделий являются целлюлозные волокна. Так, растительные волокна, полученные из макулатуры – наиболее широко распространенный наполнитель таких изделий. Растительные волокна – основа клеточных стенок растений. Волокна могут быть получены из, практически, любого растительного сырья, посредством механической и (или) химической предварительной обработки. Использование растительных волокон в полной мере отвечает принципам «зеленой» экономики [23].

Основой растительных волокон является целлюлоза. Волокнистое строение обуславливается природой целлюлозы. Она представляет собой линейный жесткоцепный гомополимер, полукристаллический полисахарид на основе D-глюкозы. Обилие гидроксильных групп приводи к образованию множественных водородных связей между соседними макромолекулами целлюлозы. При этом формируются целлюлозные микроволокна.

Также растительные волокна могут быть представлены, как элементарные волокна. В этом случае, они представляют собой биологические клетки, которые имеют особую, удлинённую полую форму, с заостренными концами [24]. Длина при этом может составлять до нескольких десятков миллиметров. С точки зрения иерархического строения, клеточные стенки таких элементарных волокон состоят из целлюлозных микрофибрилл, а также связующих гликанов – пектинов, гемицеллюлоз и лигнинов.

Растительное сырье, благодаря волокнистому строению и кристалличности целлюлозы, рассматривается, как возобновляемый источник натуральных волокон [25]. Такие волокна могут быть использованы в качестве армирующего наполнителя органоминеральных композиционных материалов. В этом случае они эффективно заменяют традиционные волокна – минеральные, стеклянные, синтетические полимерные волокна. Традиционные волокна получают из потенциально исчерпаемого сырья – соответствующих горных пород. Растительные волокна имеют ряд существенных преимуществ – легкость, доступность, сравнительная дешевизна, высокая удельная прочность, возможность биодеградации после использования.

Особенный интерес вызывает использование именно органоминеральных композитов на основе гипса. Растительные волокна горючи, а гипс, как было отмечено выше, наоборот, проявляет особые огнестойкие свойства. В органоминеральных композитах на основе растительных волокон и гипса, таким образом, недостатки растительных волокон нивелируются достоинствами гипса. И ограниченная механическая прочность гипса восполняется повышенной несущей способностью растительных волокон.

Проблемой является ограниченные сведения о степени усиления гипсовых изделий при использовании тех или иных видов растительных волокон [22, 23]. Актуальность проблемы обусловлена перспективностью использования различных растительных волокон. Научным аспектом этой же проблемы является сравнение механических свойств образцов органоминеральных композитов на основе различных видов армирующих наполнителей.

В настоящее время наиболее широко в технике используются волокна из древесной целлюлозы. Одним из наиболее качественных растительных волокон является хлопковое волокно. Это обусловило их выбор для получения экспериментальных образцов органоминеральных композитов.

Цель настоящего исследования – оценка механических свойств гипсовых образцов, армированных растительными волокнами, при сжатии. Задачи исследования

- приготовление экспериментальных образцов в лабораторных условиях;
- анализ поведения экспериментальных образцов под сжимающей нагрузкой;
- оценка потенциала растительных волокон для использования в качестве армирующего наполнителя органоминеральных композитов.

## Материалы и методы

В качестве армирующего компонента использовали распушенную целлюлозу. В частности, использовали листовую хлопковую целлюлозу (ХЦ). Изготовитель – ООО «Ферганский химический завод» (ООО «FARG'ONA KIMYO ZAVODI», г. Фергана, Ферганская область, Узбекистан). Также использовали древесную целлюлозу (ДЦ) производства ОАО «Сясьский ЦБК» (г. Сясьстрой, Ленинградская обл., Россия).

Листы целлюлозы разрезали на полосы с длиной, равной длине или ширине листа. Ширина полос составляла 50 мм. Полосы сырья обрабатывали посредством механической обработки на мельнице ударного действия. Определяли насыпную плотность образцов, по ранее апробированной методике [18].

Связующее для органоминеральных композитов – строительный гипс белый марки Gerkules GS-52, использовалась марка Г-5БIII, по ГОСТ 125-2018 (ООО «Геркулес», г. Новосибирск, Россия). Воду, для приготовления экспериментальных образцов гипсоволокнистой смеси, использовали деминерализованную деионизированную.

Далее готовили экспериментальные образцы органоминеральных композитов. В качестве наполнителя композитов использовали распушенный волокнистый материал. Его материал смешивали со гипсом и водой. Полученную гипсоволокнистую смесь формовали в виде образцов кубической формы, с длиной ребра 30 мм, во фторопластовой форме.

Концентрация обработанного волокнистого сырья, при приготовлении экспериментальных образцов, составляла 5 % (масс.). Количество воды для приготовления гипсоволокнистой смеси принималось из соотношения 1:1, по отношению к суммарной массе твердых компонентов (гипс и волокнистый армирующий наполнитель). Отверждение проводилось при комнатной температуре, в течение 30 минут. Одновременно формовалось от четырех до пяти параллельных образцов.

Дале образцы вынимали из формы и высушивали до постоянного веса, чтобы исключить влияние наличия водной влаги. Проводили измерение геометрических размеров образцов. Длину, ширину и высоту образцов измеряли штангенциркулем, с погрешностью до 0,01 мм. Размеры измеряли с двух противоположных сторон, за результат измерения принимали среднеарифметическое значение этой пары измерений. Образцы взвешивали на технических весах, с погрешностью 0,1 г. До испытаний образцы хранили в герметичном полиэтиленовом мешке, для исключения возможного увлажнения.

Затем образцы испытывали на сжатие. Для проведения экспериментов по определению прочности образцов использовали универсальную испытательную разрывную машину Р-0,5 (ООО «РСЦИМ», г. Нефтекамск, Республика Башкортостан, Россия). Температура в помещении для испытаний составляла 25 $^0$С, влажность воздуха – 20 % (отн.). Использовали специальную испытательную оснастку, позволяющие преобразовать растягивающее усилие подвижной траверсы машины в сжимающее усилие.

Образцы устанавливались на опорных пластинах испытательной оснастки, которая, в свою очередь, была закреплена в траверсах разрывной машины, расстояние между торцами пластин составляло 30 мм. Испытание проводили при скорости подвижной траверсы 7 мм/мин, подобранной заранее. Скорость перемещения траверсы была постоянной, при проведении испытаний для каждого из образцов. При проведении испытаний определялось перемещение траверсы и контролировалась соответствующая сила сжатия образцов.

Определяли относительную деформацию образцов. Для этого перемещение подвижной траверсы относили к первоначальной высоте испытуемого образца. Вычисляли величину нормального напряжения сжатия, относя усилие растяжения к площади поперечного сечения каждого из образцов. За поперечное сечение каждого образца считали произведение средней ширины и средней длины.

Испытания проводили, не менее, чем для трёх образцов. Результаты арифметически усредняли.

Математическая обработка количественных результатов испытаний, аппроксимация полученных закономерностей проводилась с использованием встроенных функций статистической обработки табличного процессора Microsoft Excel 2013 (Microsoft Corporation, г. Редмонд, штат Вашингтон, США).

## Результаты и их обсуждение

Обработанный волокнистый материал представляет собой хаотично расположенные волокна Хлопковая целлюлоза – белого цвета, древесная целлюлоза имеет слабый желтоватый оттенок. В материале, в обоих случаях, присутствует незначительное количество пыли.

Также определяли кажущуюся плотность $\rho_{app}$, г/см$^3$, полученных образцов. Для этого массу каждого из образцов M делили на объем куба, определяемый произведением длины l, ширины b и высоты h каждого из образцов. Массу брали в граммах, геометрические размеры – в миллиметрах. Расчет кажущейся плотности проводили по формуле

$$\rho_{app} = \frac{M}{l \cdot b \cdot h \cdot 10^{-3}}.$$

При этом коэффициент $10^{-3}$ используется для перевода размерности из миллиметров в сантиметры. Физические характеристики распущенных волокон и органоминеральных композитов на их основе приведены в табл. 1.

Таблица 1

Физические свойства распушенных растительных волокон и органоминеральных композитов на их основе

| Физико-механические свойства | ХЦ | | ДЦ | |
|---|---|---|---|---|
| | величина | стандартное отклонение | величина | стандартное отклонение |
| Насыпная плотность наполнителя, г/дм3 | 28 | 4 | 35 | 6 |
| Влажность наполнителя относительная, % (масс.) | 9,5 | 0,5 | 8,7 | 06 |
| Кажущаяся плотность органоминерального композита, г/дм$^3$ | 0,814 | 0,029 | 0,801 | 0,014 |

Для определения механических свойств полученных органоминеральных образцов была построена диаграмма нагружения их в ходе механических испытаний. Поведение образцов при испытаниях на растяжение показано на рис. 1. Там представлен график зависимости нормального

напряжения от относительной деформации, для примера, для некоторых из образцов. На рис 2. показан общий вид образцов после испытаний на сжатие.

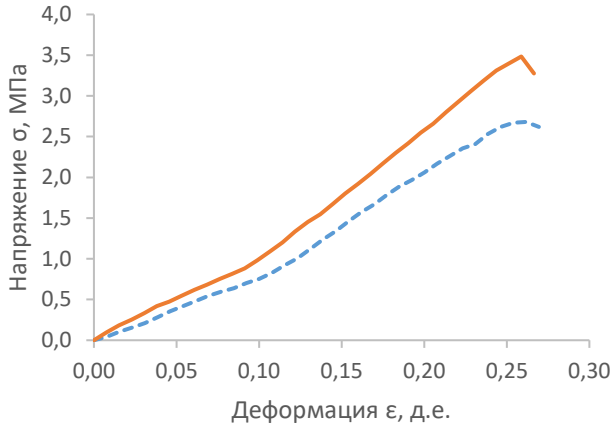
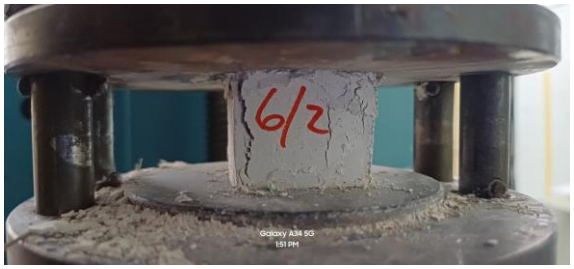



Рис. 1. Примеры зависимости нормальных напряжений от относительной деформации для органоминеральных экспериментальных образцов, сплошная линия – на основе ХЦ, пунктирная линия – на основе ДЦ



*а*

*б*

Рис. 2. Внешний вид испытуемых органоминеральных образцов на основе гипса и растительных волокон:
*а* – ХЦ; *б* – ДЦ

Как видно из рис.1, механическое нагружение испытуемых образцов происходит в два типичных этапа. Вначале происходит небольшая деформация образца, вплоть до напряжении порядка 0,7–0,8 МПа. Это происходит в диапазоне относительной деформации 0,0–0,1д.е. Это область упругих деформаций.

Далее происходит растрескивание массива испытуемого образца, с образование множества мелких трещин. Однако, благодаря армирующему действию растительных волокон, сохраняется внешняя целостность образца. Интегральная остаточная пластическая деформация испытуемого образца составляет 0,10–0,11 д.е.

На третьем этапе, характеризующимся как упругой, так и пластической деформацией, происходит практически линейное увеличение нормального напряжения до максимального значения. Этому росту внутренних напряжений соответствует увеличение величины относительной деформации 0,10–0,26 д.е. При достижении предельных значений (для выше представленного образца на основе ХЦ, по относительной деформации 0,26 д.е. и по нормальному напряжению 3,6 МПа) происходит хрупкое разрушение испытуемого образца. При этом проявляется снижение нагрузок на силоизмеритель разрывной машины, однако испытуемый образец полностью, как правило, не разрушается, благодаря растительным волокнам. Но гипсовая матрица уже теряет свою несущую способность.

По графикам нагружения, для третьего этапа, также был определен модуль продольной упругости (модуль Юнга). Механические свойства испытанных образцов органоминеральных композитов, при испытании на сжатие, усредненные по всей партии образцов, приведены в табл. 2.

Как можно отметить, из сравнения результатов механических испытаний, приведенных в табл. 2, использование различных видов растительных волокон для армирования органоминеральных композитов, приводит к некоторому изменению механических свойств испытуемых образцов. В частности, механическая прочность образцов на основе ХЦ на 9% выше, чем для образцов на основе ДЦ. Это может быть обусловлено большей длиной волокон ХЦ. При большей длине волокна ХЦ чаще соприкасаются друг с другом, в гипсовой матрице. Это приводит к перераспределению внутренней нагрузки на больший объем испытуемого материала. Таким образом, эффективнее перераспределяется внешняя нагрузка и минимизируется локальное перенапряжение.

Таблица 2

Механические свойства экспериментальных образцов по результатам испытаний на сжатие

| Механические свойства образцов | На основе ХЦ | | На основе ДЦ | |
|---|---|---|---|---|
| | величина | стандартное отклонение | величина | стандартное отклонение |
| Предельное нормальное напряжение при сжатии σ, МПа | 2,96 | 0,11 | 2,72 | 0,11 |
| Модуль упругости при сжатии E, МПа | 10102 | 342 | 7690 | 365 |
| Относительное удлинение при разрушении ε, % | 25,9 | 1,7 | 26,2 | 3,1 |

Относительно прочих механических показателей, динамика слабая. Наблюдается небольшое увеличение модуля продольной упругости для образцов на основе ХЦ, примерно на 31%. Для предельного относительной деформации образца при сжатии, наоборот, для образцов на основе ХЦ, происходит слабое уменьшение этой величины, примерно, на 1%. В целом, изменение этих показателей очень невелико и, в целом, сопоставимо со статистическими погрешностями.

С точки зрения сравнения оценки пригодности различной целлюлозы, после распушивания, для применения в качестве армирующего наполнителя органоминеральных композитов, можно сказать следующее. Предел прочности

при сжатии для образцов на основе ХЦ образцов увеличивается на 9%, по сравнению с образцами на основе ДЦ. Однако оба вида растительных волокон могут быть использованы для армирования органоминеральных композитов.

## Заключение (Выводы)

Получены экспериментальные образцы гипсоволокнистых композитов с армированием обработанными растительными волокнами. Получены, для органоминеральных композитов на основе ХЦ и ДЦ, соответственно, значения предела прочности при сжатии σ=3,0±0,1 МПа и σ=2,7±0,1 МПа модуль продольной упругости при растяжении E=10,10±0,0,34 ГПа, E=7,69±0,37 ГПа, предельное относительное удлинение при разрушении ε=25,9±1,7 % и ε=26,2±3,1 %. Показано, что использование хлопковой целлюлозы позволяет увеличить отдельные механические свойства, в частности, предел прочности при сжатии, увеличивается примерно на 9%, модуль продольной упругости возрастает на 31%.

Результаты настоящего исследования могут быть применены для получения органоминеральных композитов на основе гипса и растительных волокон. Например, возможно использование такого материала в качестве теплоизоляционного или звукоизоляционного материала в различных строительных конструкциях или в строительных изделиях.

## Литература

1. Martias C. Effects of the addition of glass fibers, mica and vermiculite on the mechanical properties of a gypsum-based composite at room temperature and during a fire test / C. Martias, Y. Joliff, C. Favotto // Composites. Pt B. Engineering. – 2014. – vol. 62. – P. 37-53.

2. Zhou Y.H. A circular economy use of recovered sludge cellulose in wood plastic composite production: Recycling and eco-efficiency assessment / Y.H. Zhou, P. Stanchev, E. Katsou, S. Awad, M.Z. Fan // Waste Management. – 2019. – vol. 99. – P. 42-48. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.08.037.

3. Zhang H. Effect of expanded vermiculite on aging properties of bitumen / H. Zhang, J. Yu. D. Kuang // Construction and Building Materials. – 2012. – vol. 26. – P. 244-248.

4. Barrera M.M.B. Assessment of thermal performance of gypsum-based composites with revalorized graphite filler / M.M.B. Barrera, N.F. Medina, V.P. Villar // Construction and Building Materials. – 2017. – vol. 142. – P. 83-91.

5. Gong J. Waterproof properties of thermal insulation mortar containing vitrified microsphere / J. Gong, Z. Duan, K. Sun, M. Xiao // Construction and Building Materials. – 2016. – vol. 123. – P. 274-280.

6. Pundir A. Evaluation of properties of gypsum plaster-superplasticizer blends of improved performance / A. Pundir, M. Garg, R. Singh // Journal of Building Engineering. – 2015. – vol. 4. – P. 223-230.

7. Cao W.X. A novel low-density thermal insulation gypsum reinforced with superplasticizers / W.X. Cao, W. Yi, S.H. Yin, J.H. Peng, J. Li // Construction and Building Materials. – 2021. – vol. 278. – 122421.

8. Jia R.Q. A comprehensive overview of fiber-reinforced gypsum-based composites (FRGCs) in the construction field / R.Q. Jia, Q. Wang, P. Feng // Composites. Pt B. Engineering. – 2021. – vol. 205. – 108540.

9. Khan M.S. Effects of incorporating fibres on mechanical properties of fibre-reinforced concrete: A review / M.S. Khan, A. Fuzail Hashmi, M. Shariq, S.M. Ibrahim // Materials Today: Proceedings. – 2023. DOI: 10.1016/j.matpr.2023.05.106.

10. Öztürk B. Hot wear properties of ceramic and basalt fiber reinforced hybrid friction materials / B. Öztürk, F. Arslan, S. Öztürk // Tribology International. – 2007. – vol. 40. – P. 37-48.

11. Hawkins P.J. Glass fibre reinforced plaster composton. US Patent 5,100,474. 1992

12. Sing M. Glass fiber reinforced water-resistant gypsum-based composites / M. Sing, M. Garg // Cement and Concrete Composites. – 1992. – vol. 14. – P. 23-32.

13. Gonçalves R.M. Evaluating the potential use of recycled glass fibers for the development of gypsum-based composites / R.M. Gonçalves, A. Martinho, J.P. Oliveira // Construction and Building Materials. – 2022. – vol. 321. – 126320.

14. Yang L. Surface-treated recycling fibers from wind turbine blades as reinforcement for waste phosphogypsum / L. Yang, W. Zhao, D. Wang et al. // Molecules. – 2022. – vol. 27. – 8668.

15. Low N.M.P. The effect of wollastonite micro-fibre aspect ratio on reinforcement of Portland cement-based binders / N.M.P. Low, J.J. Beaudoin // Cement and Concrete Research. – 1993. – vol. 23. – P. 1467-1479.

16. Schmid T. Chemical imaging of historical mortars by Raman microscopy / T. Schmid, P. Dariz // Construction and Building Materials. – 2016. – vol. 114. – P. 506-516.

17. Xu X. Energy-efficient mineral carbonation of CaSO4 derived from wollastonite via a roasting-leaching route / X. Xu, W. Liu, G. Chu et al. // Hydrometallurgy. – 2019. – vol. 184. – P. 151-161.

18. Wang B., Pan Z., Cheng H. et al. A review of carbon dioxide sequestration by mineral carbonation of industrial byproduct gypsum // Journal of Cleaner Production. 2021. V. 302. art. No. 126930.

19. Lee M. g., Jang Y. N., Ryu K. w. et al. Mineral carbonation of flue gas desulfurization gypsum for CO2 sequestration // Proceedings of the ICE - Energy . 2012. V. 47. P. 370-377.

20. Li X.Q. Reinforcing effects of gypsum composite with basalt fiber and diatomite for improvement of high-temperature endurance / X.Q. Li, T.Y. Yu, S.J. Park, Y.H. Kim // Construction and Building Materials. – 2022. – vol. 325. –126762.

21. Jia R. A comprehensive overview of fibre-reinforced gypsum-based composites (FRGCs) in the construction field / R. Jia, Q. Wang, P. Feng // Composites Part B: Engineering. – 2021. – Vol. 205 – 108540. DOI: 10.1016/j.compositesb.2020.108540.

22. Dalmay P. Properties of cellulosic fibre reinforced plaster: influence of hemp or flax fibres on the properties of set gypsum / P. Dalmay, A. Smith, T. Chotard et al. // Journal of Materials Science. – 2010. – vol. 45. – P. 793-803.

23. Rashid A.B. Nanotechnology-enhanced fiber-reinforced polymer composites: Recent advancements on processing techniques and applications / A.B. Rashid, M. Haque, S.M.M. Islam, K.M.R.U. Labib // Heliyon. – 2024. – vol. 10, is.2. – e24692. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e24692.

24. Lev-Yadun S. Plant fibers: initiation, growth, model plants, and open questions // Физиология растений. – 2010. – Т.57, №3. – С. 323-333.

25. Keijsers E.R.P The cellulose resource matrix / E.R.P. Keijsers., G. Yilmaz, J.E.G. Van Dam // Carbohydrate Polymers. – 2013. – vol. 93, is. 1. – P. 9-21. DOI: 10.1016/j.carbpol.2012.08.110.

DOI: 10.24892/RIJIE/20250410

# Determination of the Physico-Mechanical Characteristics of Organomineral Composites Based on Plant Fibers and Gypsum

Chashchilov D.V., Savin D.A.
Laboratory of Materials Science of Mineral Raw Materials
Federal State Budgetary Institution of Science "Institute of Problems of Chemical and Energy Technologies" of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IPCET SB RAS)
Biysk, Russian Federation
dmitry.chashchilov@mail.ru

Grigorenko A.V.
Laboratory "Analytical Testing Center"
Joint-Stock Company "Altai Federal Research and Production Center",
Biysk, Russian Federation
labmineral@mail.ru

Manukhina K.S., Pavlov K.S.
Special Faculty of Engineering
Department of Machines and Apparatuses of Chemical and Food Production
Biysk Technological Institute (branch) of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
"Polzunov Altai State Technical University" (BTI AltSTU)
Biysk, Russian Federation
mahipp@bti.secna.ru

***Abstract.*** **Organomineral gypsum-based materials have increased fire resistance. The problem is the limited data on the mechanical properties of such materials. The urgency of the problem is due to the promising use of vegetable raw materials as a reinforcing filler of composites. The scientific aspect of the same problem is the comparison of the mechanical properties of samples of organic composites based on various types of reinforcing fillers. The paper investigates the mechanical properties during compression of gypsum fiber composites based on cotton and wood pulp. Cellulose samples are mechanically fluffed. A universal tearing machine R-0.5 was used to determine the mechanical characteristics. Three parallel samples were tested. Experimental samples of gypsum fiber composites with reinforcement with treated plant fibers were obtained experimentally. The values of compressive strength σ=3.0±0.1 MPa and σ=2.7±0.1 MPa were obtained for organomineral composites based on HC and DC, respectively, the modulus of longitudinal elasticity under tension E=10.10±0.0.34 GPa, E=7.69±0.37 GPa, and the ultimate relative elongation at fracture e=25.9±1.7 % and ε=26.2±3.1%. It is shown that the use of cotton pulp makes it possible to increase certain mechanical properties, in particular, the tensile strength during compression increases by about 9%, and the modulus of longitudinal elasticity increases by 31%. The results of this study can be applied to obtain organomineral composites based on gypsum and plant fibers. For example, it is possible to use such a material as a thermal insulation or sound insulation material in various building structures or in building products.**

***Keywords:*** **plant fibers, gypsum, reinforcing filler, composite materials, ultimate strength, modulus of elasticity, ultimate deformation, apparent density.**

---

**Библиографическое описание статьи**

Чащилов Д.В. Определение физико-механических характеристик органоминеральных композитов на основе растительных волокон и гипса / Д.В. Чащилов, Д.А. Савин, А.В. Григоренко, К.С. Манухина, И.Н. Павлов // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2025. – Т.12, №4. – С. 60-65. DOI: 10.24892/RIJIE/20250410

**Reference to article**

Chashchilov D.V., Savin D.A., Grigorenko A.V., Manukhina K.S., Pavlov K.S. Determination of the physico-mechanical characteristics of organomineral composites based on plant fibers and gypsum, *Russian Internet Journal of Industrial Engineering*, 2025, vol.12, no.4, pp. 60-65. DOI: 10.24892/RIJIE/20250410

---