

УДК 691.41(571.56)
DOI 10.17513/use.38240

ПЕРЕРАБОТКА ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ В СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПОЗИТ

Местников А.Е.

ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»,
Якутск, e-mail: mestnikovae@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются способы переработки глинистого сырья в строительный композит. В основу изготовления прочного строительного композита из глинистых грунтов заложены обжиговая и безобжиговая технологии. Для отдаленных районов Севера практический интерес представляют безобжиговые технологии получения строительного композита вследствие доступности глинистого сырья и малой энергоёмкости производства. Древний строительный композит из самана широко применяется в южных странах. В условиях холодного климата России саман применяется в единичных случаях, в основном сторонниками экологического домостроения. Нами обоснована эффективность производства и применения глиносырцовых композитов в сельском строительстве. Полученные способом пластического формования стеновые изделия относятся к конструкционно-теплоизоляционным материалам: средняя плотность 800–1400 кг/м³, предел прочности на сжатие 1,0–3,5 МПа, коэффициент теплопроводности 0,18–0,44 Вт/(м×К). К основным недостаткам глиносырцовых композитов относится низкая водостойкость и размокаемость, что сильно ограничивает область их применения. Улучшенными свойствами обладают грунтоцементные композиты, полученные способом полусухого прессования: средняя плотность 1600–2030 кг/м³, предел прочности на сжатие 14,10–14,10 МПа, коэффициент теплопроводности 0,47–0,70 Вт/(м×К), водопоглощение 11,0–28,0% и морозостойкость 10–55 циклов.

Ключевые слова: глинистые грунты, методы переработки, пластическое формование, полусухое прессование, строительный композит, прочность, теплопроводность

PROCESSING OF CLAY SOILS INTO A BUILDING COMPOSITE

Mestnikov A.E.

North-Eastern Federal University named M.K. Ammosov, Yakutsk, e-mail: mestnikovae@mail.ru

Annotation. The article discusses the ways of processing clay raw materials into a building composite. The basis for the manufacture of a durable construction composite made of clay soils is based on firing and non-firing technologies. For remote areas of the North, non-combustion technologies for the production of building composite are of practical interest, due to the availability of clay raw materials and low energy intensity of production. The ancient adobe building composite is widely used in southern countries. In the conditions of the cold climate of Russia, adobe is used in isolated cases, mainly by supporters of ecological housing construction. We have proved the efficiency of production and application of clay-raw composites in rural construction. The wall products obtained by plastic molding belong to structural and thermal insulation materials: an average density of 800–1400 kg / m³, a compressive strength of 1.0–3.5 MPa, a thermal conductivity coefficient of 0.18–0.44 W/(m × K). The main disadvantages of clay-lead composites include low water resistance and dampness, which greatly limits the scope of their application. Soil-cement composites obtained by semi-dry pressing have improved properties: average density 1600–2030 kg/m³, compressive strength 14.10–14.10 MPa, thermal conductivity coefficient 0.47–0.70 W/(m × K), water absorption 11.0–28.0% and frost resistance 10–55 cycles.

Keywords: clay soils, processing methods, plastic molding, semi-dry pressing, building composite, strength, thermal conductivity

В древние времена человек использовал пластичные глинистые грунты для изготовления кирпича-сырца, используя их свойство приобретать твердость при сушке. Также строили глиняные постройки из строительного композита – самана, состоящего из смеси глины, воды, песка и резаной соломы. Саман служил доступным и эффективным материалом для постройки жилья. Дом получался относительно комфортным для проживания, обладая высокой огнестойкостью и достаточной долговечностью при соблюдении соответствующей защиты от попадания дождя и влаги. На сегодня, кроме традиционно-го саманного строительства, энтузиасты

зеленого строительства строят экодому с использованием самана в виде кирпича-сырца и блоков [1–3]. Для них характерны невысокая прочность и низкая водостойкость. Поэтому для улучшения физико-механических свойств глинистых материалов применяют различные вяжущие вещества, пластификаторы, фибры и др. [4–6]. В технологии изготовления изделий из них применяют, кроме классического пластического формования, полусухое прессование, гиперпрессование, 3D-печать и др. [7–9]. Однако основным способом получения высококачественных изделий на основе глинистых грунтов является энергоёмкое производство керамического кирпича [10].

В суровых климатических условиях Якутии керамический кирпич в г. Якутске начали производить малыми партиями с начала XVIII в. для строительства церковных и административных зданий. До сегодняшнего дня сохранились и восстановлены с десятков кирпичных зданий, что показывает их достаточную долговечность, несмотря на невысокое качество обожженного кирпича. В сельских условиях кирпич-сырец, в единичных случаях обожженный кирпич, производили в районных центрах, в основном для кладки печей.

Идея использования низкокачественных глинистых грунтов в создании безобжиговых композитов и на сегодня остается актуальной в малоэтажном и индивидуальном строительстве из-за доступности сырья и малой энергоемкости производства.

Цель исследования – изучение возможности использования низкокачественных глинистых грунтов Якутии в производстве безобжиговых строительных композитов.

Материалы и методы исследования

Экспериментальные работы выполнены с использованием стандартных методов на приборах и оборудовании Инженерно-технического института СВФУ.

В геологическом строении Усть-Алданского месторождения легкоплавких глин принимают участие отложения среднеплейстоценового возраста, представленные суглинками желто-бурыми, лессовидными, с частыми включениями растительных остатков, с тонкими прослоями тонкозернистого песка. Месторождение ранее было изучено только на стадии поисковых работ, в ходе которых было выполнено технологическое испытание сырья месторождения. Результаты испытаний показали, что сырье месторождения низкого качества пригодно только для производства керамического кирпича марки 50 [11]. Зерновой состав суглинков следующий, % мас.: фракции более

0,05 мм – 39,3; от 0,05 до 0,005 мм – 47,3; менее 0,005 мм – 13,4.

Химический состав суглинков, % мас.: SiO_2 – 58,16–59,58; Fe_2O_3 – 4,95–6,11; $Al_2O_3 + TiO_2$ – 15,97–17,21; CaO – 3,08–4,92; MgO – 2,74–3,71; п.п.п. – 7,87–8,88.

Инженерно-геологические изыскания с участием автора проводились на различном расстоянии от с. Борогонцы – районного центра Усть-Алданского района. Работы проводились проходкой шурфов, описанием выработок, отбором проб точечным методом и визуальным описанием площадок с привязкой их к ближайшим поселкам и обозначены на карте Республики Саха (Якутия).

Проба 1 отобрана на аласовой котловине термокарстового происхождения в 2 км от райцентра, западнее трассы Борогонцы – Соттинцы. Шурф сечением 1,25 м². Суглинок серый, талый, с мелкими растительными остатками. Отбор пробы на глубине 0,8 м.

Проба 2 – в 7 км от трассы Борогонцы – Соттинцы, в 1 км к югу от участка Харанга Тордо, вблизи оз. Мюрю. Шурф сечением 1,25 м², глубиной 0,7 м. Суглинок темно-серый, талый, с большим количеством растительных остатков.

Проба 3 – участок Куранах Алаас в 3,5 км южнее с. Ус-Кюель, маленький, термокарстового происхождения, имеется озеро с очень чистой прозрачной водой. В пределах аласа пройдено 3 шурфа с глубиной 0,7–0,85 м в крест простирания, сечение выработок 1,25 м². После вскрытия растительного слоя мощностью 0,2 м ниже следуют темно-коричневые суглинки, с глубиной переходящие в темно-серые, очень плотные, талые.

Проба 4 – в 0,8 км западнее с. Бэрийэ на местности Танара Хайа. Пройдены 2 шурфа с сечением 1,25 м² и глубиной 0,8 м. Почвенно-растительный слой – 0,2 м с остатками и корнями травянистых растений, ниже – суглинки темно-серые, талые, плотные.

Таблица 1

Свойства глинистых грунтов

| № | Плотность, кг/м ³ | | Общая влажность, % | Пластичность | Засоленность, % | Коэффициент теплопроводности, Вт/(м×К) | |
|---|------------------------------|--------|--------------------|--------------|-----------------|--|-------|
| | естественная | скелет | | | | талый | сухой |
| 1 | 1,80 | 1,41 | 27 | 14 | 11 | 1,57 | 1,68 |
| 2 | 1,87 | 1,39 | 35 | 16 | 25 | 1,54 | 1,80 |
| 3 | 1,71 | 1,37 | 29 | 11 | 19 | 1,38 | 1,57 |
| 4 | 1,86 | 1,56 | 35 | 11 | 17 | 1,54 | 1,91 |
| 5 | 1,76 | 1,14 | 40 | 9 | 28 | 1,81 | 2,03 |

Проба 5 – в с. Кыллай пройдена скважина ручным комплектом бурения диаметром 89 мм, глубиной 1,0 м. Суглинки темно-бурые, заторфованные, с растительными остатками. Свойства глинистых грунтов приведены в табл. 1.

Лучшие показатели по пластичности имеют глинистые грунты из точек 1 и 2, которые могут быть пригодны для изготовления глиносырцового композита. В качестве органического наполнителя взяты древесные опилки.

Результаты исследования и их обсуждение

Приготовление смеси грунта естественной влажности и наполнителя из древесных опилок производили в стационарном бетоносмесителе с добавлением соответствующего количества воды. Изготовление образцов производили в металлических формах размерами 150×150×150 см способом механического уплотнения. В процессе лабораторных и построечных испытаний установлены оптимальные составы глиносырцовых смесей с наполнителем из древесных опилок (табл. 2 и 3).

Таблица 2

Состав глиносырцовой смеси для устройства стены и пола

| Компонент | Начальная влажность, % | Количество, % мас. | Объем, в частях |
|------------------|------------------------|--------------------|-----------------|
| Грунт | 10–12 | 70 | 3 |
| Вода | – | 20 | 1 |
| Древесные опилки | 5-8 | 10 | 3 |

Таблица 3

Состав глиносырцовой смеси для устройства совмещенной кровли

| Компонент | Начальная влажность, % | Количество, % мас. | Объем, в частях |
|------------------|------------------------|--------------------|-----------------|
| Грунт | 10–12 | 55 | 2 |
| Вода | – | 25 | 1 |
| Древесные опилки | 5-8 | 20 | 5 |

Определены состав и свойства глиносырцового композита для изготовления блоков (табл. 4).

Таблица 4

Состав и свойства глиносырцового композита

| Свойства | Содержание наполнителя, % мас. | | | |
|--|--------------------------------|------|------|------|
| | 15 | 12 | 8 | 5 |
| Плотность, кг/м ³ | 800 | 1000 | 1200 | 1400 |
| Предел прочности на сжатие, МПа | 1,0 | 2,0 | 2,8 | 3,5 |
| Коэффициент теплопроводности, Вт/(м×К) в сухом состоянии | 0,18 | 0,25 | 0,36 | 0,44 |

Наибольшей прочностью обладают стеновые блоки с содержанием наполнителя в 5% по массе. Для заполнения самонесущей стены в деревянно-каркасном строительстве был рекомендован глиносырцовый композит плотностью 800 кг/м³, имеющий коэффициент теплопроводности в сухом состоянии 0,18 Вт/(м×К).

Составы глиносырцового композита были использованы в деревянно-каркасном строительстве индивидуального дома с совмещенной кровлей. Натурные наблюдения за тепловлажностным режимом жилого дома в зимний период показали следующее:

1) температура воздуха в жилых комнатах в среднем составила 23°C, что вполне удовлетворяет нормативным требованиям;

2) относительная влажность внутри здания составила 24–64%, что в среднем не превышает 50%, что соответствует нормативным требованиям для жилых помещений;

3) температура поверхности деревянного пола – 14,5–16,8°C.

4) фактический коэффициент теплопроводности слоев глиносырцового композита с наполнителем из древесных опилок составил 0,33–0,36 Вт/(м×К), что близко к проектному значению.

5) фактическое сопротивление теплопередаче стеновых конструкций составило 0,92–0,96 (м²×К)/Вт, что примерно в 1,5 раза меньше требуемого ($R_{\text{треб.}} = 1,48$ (м²×К)/Вт). Главной причиной невысокого уровня показателя тепловой защиты стеновой конструкции является высокая влажность глиносырцового композита в первый год эксплуатации.

В рамках продолжения НИР на базе сезонного кирпичного завода была выпущена опытная партия глиносырцового кирпича с наполнителем из древесных опилок в 5% по массе объемом в 90 тыс. шт. (табл. 5).

Таблица 5

Свойства глиносырцового композита-кирпича пластического формования

| Размеры, мм | Плотность, кг/м ³ | Воздушная усадка | Прочность при сжатии | Коэффициент теплопроводности, Вт/(м×К) |
|-------------|------------------------------|------------------|----------------------|--|
| 250×125×65 | 1400–1600 | 6–8 | 3,0–3,5 | 0,35–0,40 |

Таблица 6

Тепловлажностный режим жилого дома из глиносырцового композита

| Средняя температура, °С | | Относительная влажность, % | Коэффициент теплопроводности, Вт/(м×К) | Сопротивление теплопередаче, (м ² ×К)/Вт) | Влажность стенового материала, % |
|-------------------------|--------|----------------------------|--|--|----------------------------------|
| 1 этаж | 2 этаж | | | | |
| 18–20 | 20–22 | 25–30 | 0,25–0,33 | 1,51–1,98 | 5–7 |

Таблица 7

Состав и свойства грунтоцементного композита

| Состав, по объему | Плотность, кг/м ³ | Прочность на сжатие, МПа | Водопоглощение, % | Коэффициент теплопроводности, Вт/(м×К) | Морозостойкость |
|-------------------------|------------------------------|--------------------------|-------------------|--|-----------------|
| Суглинок-63 + песок-37 | 2010 | 14,10 | 11,0 | 0,70 | 55 |
| Суглинок-100 | 2030 | 11,41 | 17,0 | 0,55 | 10 |
| Суглинок-63 + супесь-37 | 1950 | 7,96 | 16,0 | 0,56 | 40 |
| Суглинок-63 + опилки-37 | 1710 | 7,26 | 25,0 | 0,52 | 16 |
| Суглинок-63 + торф-37 | 1600 | 4,10 | 28,0 | 0,47 | 15 |

Морозостойкость составила не ниже 15 циклов, определенная методом термоциклирования при абсолютной влажности воздуха не выше 90 %.

Результаты натурных наблюдений, проведенных на втором году эксплуатации, показали, что тепло-влажностный режим жилых помещений и теплофизические показатели использованных строительных композитов соответствуют расчетным значениям (табл. 6).

Таким образом, по результатам лабораторных и натурных исследований (табл. 1–6) установлено, что глиносырцовый композит с наполнителем из природных органических материалов (например, древесные опилки, солома, мох и др.) может конкурировать с легкими бетонами по многим строительно-эксплуатационным характеристикам, кроме низкой водостойкости и размокаемости.

Для повышения водостойкости и прочности глиносырцовых композитов, как обычно, в исходную смесь дополнительно вводят вяжущее вещества, в большинстве случаев

портландцемент. В таком случае получается грунтоцементный композит – грунтобетон.

Образцы грунтобетона изготовлены способом полусухого прессования 10 МПа на основе глинистого грунта 3 по табл. 2. В качестве минерального наполнителя использовали речной песок и супесь, органического наполнителя – древесные опилки и торф, вяжущего вещества – портландцемент марки ЦЕМ I 32,5Б – 10% мас. (табл. 7).

Как видно из табл. 7, с введением органического наполнителя прочностные показатели уменьшаются практически в 2 раза. Однако коэффициент теплопроводности уменьшается на 25,7%, что указывает на повышение теплозащитных качеств грунтоцементного композита. Поэтому для выпуска опытной партии стеновых блоков был выбран состав с наполнителем из древесных опилок со следующими характеристиками: плотность в сухом состоянии – 1300–1550 кг/м³, марка по прочности на сжатие – 20–25, водопоглощение – 16–23%, коэффициент теплопроводности – 0,35–0,45 Вт/(м×К), морозостойкость – 15–25.

Таблица 8

Свойства прессованного грунтоцементного композита

| Цемент, % | Прессование, МПа | | | |
|--------------|------------------|-----------|-----------|-----------|
| | 2,5 | 5,0 | 10,0 | 15,0 |
| $W_0 = 15\%$ | | | | |
| 3 | 3,2/21,7* | 4,1/17,7 | 6,9/19,5 | 9,0/14,8 |
| 5 | 4,8/15,6 | 5,5/16,8 | 7,8/13,8 | 12,4/15,6 |
| 8 | 5,0/14,8 | 7,0/13,2 | 8,7/10,5 | 13,2/12,9 |
| $W_0 = 15\%$ | | | | |
| 3 | 6,3/14,8 | 6,9/15,6 | 7,6/13,2 | 8,9/13,6 |
| 5 | 6,5/13,1 | 7,7/11,3 | 8,6/13,3 | 12,6/14,2 |
| 8 | 7,7/12,4 | 10,1/11,3 | 12,5/10,8 | 14,1/12,0 |

Примечание: * – в числителе – прочность на сжатие, в знаменателе – водопоглощение.

Таким образом, оптимальный вариант получения грунтоцементных композитов с заданными свойствами заключается в применении технологии полусухого прессования с одновременной стабилизацией материала введением вяжущих веществ. Испытания производились с составом грунтоцемента: суглинок 70% + речной песок 30% + портландцемент ЦЕМ I 32,5Б (3, 5 и 8% к грунтовой смеси). Получены зависимости прочности на сжатие и водопоглощения грунтоцементного композита от усилия прессования и начальной влажности грунтовой смеси W_0 (табл. 8).

Заключение

Из вышеприведенных результатов лабораторных и натурных исследований установлено, что в отдаленных от промышленных центров районов Севера и Арктики вполне приемлемым вариантов может быть организация малых производств строительных композитов на основе доступных глинистых грунтов с различными наполнителями из природного и техногенного сырья. Следует отметить, что технология создания строительных композитов из глинистых грунтов требует доработки для конкретного района строительства с учетом наличия сырья и энергетических ресурсов.

Список литературы

1. Маржохова А.Ш. Актуальность строительных материалов прошлого (землебит, саман, солома, снег и лед) //

Вестник современных исследований. 2018. № 12.1 (27). С. 600–602.

2. Енин А.Е., Гриценко Н.В. Экологические материалы при формировании устойчивой жилой среды сельских поселений (проектные и технологические аспекты строительства из самана) // Архитектурные исследования. 2017. № 1 (9). С. 63–70.

3. Унайбаев Б.Ж., Шегай В.М., Унайбаев Б.Б. Эффективность применения стен из грунтовых материалов // Механика и технологии. 2018. № 3 (61). С. 105–112.

4. Дуйшов С.Д., Калдыбаев Н.А., Назарбеков Б.К. Разработка технологических параметров изготовления органо-грунтовых стеновых материалов (фиброблок) на основе местных сырьевых ресурсов // Известия Омского технологического университета. 2023. № 3. С. 16–22.

5. Бобыльская В.А., Мазгалева А.В., Лещенко С.И. Подбор составов золошлакоцементной смеси при проектировании грунтобетонов // Эксперт: теория и практика. 2023. № 4 (23). С. 41–46.

6. Дмитриева Т.В., Строкова В.В., Безродных А.А. Влияние генетических особенностей грунтов на свойства грунтобетонов на их основе // Строительные материалы и изделия. 2018. Т. 1, № 1. С. 69–77.

7. Лаушкина В.А., Иващенко Ю.Г. Стеновые материалы на основе фосфогипса, изготавливаемые методом полусухого прессования // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ. 2014. № 11 (70). С. 153–154.

8. Лунегова А.А., Вдовин В.И., Болотин А.В. Перспективы использования лега-кирпича в индивидуальном жилищном строительстве // Региональная архитектура и строительство. 2021. № 3 (48). С. 26–31.

9. Вашева С.В., Елистраткин М.Ю., Бухтияров И.Ю., Ионов А.М. Грунтобетоны для строительной 3D-печати // Университетская наука. 2023. № 2 (16). С. 27–31.

10. Тацки Л.Н., Ильина Л.В., Филин Н.С. Технологические принципы повышения качества керамического кирпича полусухого прессования из низкокачественного сырья // Известия вузов. Строительство. 2019. № 7. С. 35–48.

11. Пояснительная записка к обзорной карте месторождений строительных материалов Якутской АССР масштаба 1:2500000. Т. 1 и 2. М.: Союзгеолфонд, 1988. 421 с.