

УДК 691.421.24: 539.2 (575.1)  
AGRIS P01

https://doi.org/10.33619/2414-2948/73/25

## ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ГЛИНЫ

©*Сиддиков М. Х.*, канд. техн. наук, Ургенчский государственный университет,  
г. Ургенч, Узбекистан, [xasan\\_siddqov@mail.ru](mailto:xasan_siddqov@mail.ru)

## RESEARCH OF THE STRUCTURE AND PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF MODIFIED CLAY

©*Siddikov M.*, Ph.D., Urgench State University,  
Urgench, Uzbekistan, [xasan\\_siddqov@mail.ru](mailto:xasan_siddqov@mail.ru)

*Аннотация.* В статье приведены свойства природной глины Узбекистана. Приведен исторический анализ использования этого природного сырья. Рассмотрены возможности изменения свойств глины с помощью введения в нее синтетических волокнистых отходов легкой промышленности. Приведены расчеты свойств глины при внесении различных добавок и технологии обработки ее. Установлено, что, модификации глины волокнистыми отходами и последующая термообработка улучшает морозостойкость, и водостойкость материала. Эти свойства зависят от доли содержания волокон, температуры термообработки и времени выдержки материала в печи.

*Abstract.* The article presents the properties of natural clay in Uzbekistan. The historical analysis of the use of this natural raw material is presented. Possibilities of changing the properties of clay by introducing synthetic fibers of light industry waste into it are considered. Calculations of the properties of clay with the introduction of various additives and the technology of its processing are given. It has been established that modification of clay with fibrous waste and subsequent heat treatment improves frost resistance, and water resistance of the material, these properties depend on the percentage of fiber content, heat treatment temperature and time of holding the material in the furnace.

*Ключевые слова:* глина, материалы, глиносырцовые сооружения, железобетон.

*Keywords:* clay, materials, clayey structures, reinforced concrete.

Глина в качестве конструкционного материала для стен использовалась с самых древних времен во всех частях земного шара, в том числе и в Центральной Азии. Умелое и качественное возведение конструкций из естественного экологически чистого материала, правильная эксплуатация зданий обеспечивали их прочность и долговечность. По-видимому, наши предки знали секреты придания прочности и долговечности сооружениям из глинистого сырья. Вследствие этого, до наших дней сохранились архитектурные памятники из глиноматериалов в Узбекистане (Самарканд, Хива и Бухара), Германии, США, Китае, Йемене и многих других странах, как свидетельство процветания архитектурной и инженерной мысли того времени.

С развитием индустриализации строительства традиционный строительный местный материал, игравший важную роль в жизни человека, вытеснялся конструкциями из бетона и железобетона. Повсеместно возводились от одноэтажных сельскохозяйственных зданий до крупных промышленных предприятий только из железобетона, если даже это не было целесообразным. Принимая во внимание не капитальность и трудоемкость возведения, конструкций из глиноматериалов, глина даже не была включена в нормативные документы бывшего Советского Союза в качестве возможного конструкционного материала. Поэтому материалы из глины сохранились только в индивидуальном жилищном строительстве, возводимые примитивными и кустарными способами. Это объясняется, прежде всего, отсутствием специалистов, что привело к постепенному забвению накопленного опыта по глиносырцовому строительству. Проекты по глиносырцовому строительству единичны, но и те, которые имеются, не лишены многих ошибок, недостаточно учитывался в них отечественный и зарубежный опыт.

В странах западной Европы строительство жилых многоэтажных домов за последние 20 лет стало исключением из правил. Вторжение малоэтажной застройки в современный город продолжается. В настоящее время в связи с широким развитием строительства малоэтажных жилых, сельскохозяйственных, производственных и общественных зданий вокруг больших городов и в сельской местности использование местных глиноматериалов приобретает важное значение.

За годы индустриализации основное внимание научно-технической мысли в Узбекистане было обращено на строительство из сборного железобетона, в результате, не получили должного развития конструкции из других материалов, в том числе глиноматериалов, традиционно широко используемых народом. Следовательно, не проводились исследования напряженно — деформированного состояния стены из местных материалов при действии статических и сейсмических нагрузок, не разрабатывались методы повышения несущей способности зданий из глиноматериалов.

Обретение независимости Узбекистаном позволило развернуть научные исследования имеющие непосредственное отношение к региональным потребностям и традициям народа [1]. Примером тому является включение в число важнейших государственных научно-технических программ Узбекистана темы: №30.6 «Разработка стеновых материалов и изделий на основе местных материалов для малоэтажного строительства», в рамках которой была выполнена настоящая работа [2].

Наблюдения за хорошо сохранившимися постройками показывают, что при правильном подборе и обработке глиносырцовых материалов и защите их от увлажнения при эксплуатации, они способны служить сотни лет. Поэтому требуется изучение исторического опыта и проведение комплекса исследований с использованием современных надежных средств. Изучение физико-механических свойств, напряженно-деформированного состояния стен современными методами и на их основе выявление резервов прочности глиносырцовых конструкций, и разработка методов и средств увеличения прочности, долговечности, а также расчета на статические и сейсмические воздействия представляют задачи, которые необходимо еще глубоко изучить.

Территория Узбекистана расположена в невыгодных условиях для строительства, а именно: высокая активность сейсмических воздействий, просадочность грунтов и высокая агрессивность подземных грунтовых вод. Это все накладывает дополнительную сложность в проведении исследований в области строительной науки [10].

Для упрочнения и улучшения долговечности глиносырцовых конструкций народами Центральной Азии широко использовались отходы растений, чаще всего колосовых. Вместе с тем, развитие легкой и химической промышленности сопряжено с появлением отходов искусственного происхождения. Их утилизация и вторичное использование также является важным экологическим вопросом.

В связи с вышеизложенным, повышение прочности и долговечности стен из местных глиноматериалов путем модификации их синтетическими волокнами отходов легкой промышленности является актуальной задачей. В легкой промышленности Хорезмского вилоята производством ковров занимаются: Хивинский ковроткацкий комбинат, ковровая фабрика ручного производства и два десятка малых предприятий. Ковроткацкое производство вилоята с производительностью до 2,98 млн м<sup>2</sup> выделяет волокнистые различные отходы. Акционерным обществом «Хоразм ипаги» выпускается ткань панбархата в объеме более 1000 м<sup>2</sup> в день при односменной работе, которое также выделяет волокнистые отходы. В последние годы в производстве ковровых изделий все больше применяются разные искусственные материалы.

Ежегодно в Хорезмском вилояте образуется около 800 т отходов (волокон) в текстильной и ковроткацкой промышленности. Причем, подавляющее большинство ежегодных отходов составляет кноп стригальный с диаметром 0,002–0,03 мм и длиной до 12 мм. К тому же эти волокнистые отходы непригодны для повторного применения в ковроткацком и текстильном производстве.

Одним из стабилизирующих свойства глины является добавление в состав массы волокнистых материалов. Учитывая широкое внедрение в текстильной и ковроткацкой промышленности искусственных волокон и их устойчивость биологическому воздействию, а также действию кислот, щелочей и света принято решение использовать отдельные короткоразмерные отходы для упрочнения глины [3].

При оценке результатов исследований важно знать точность и надежность измерений. В связи с чем в задачу измерений входило не только определение значения самой измеряемой величины, но и оценка погрешности, допущенной при измерении [4].

Ошибки измерения обычно связаны с суммарным эффектом влияния различных факторов. Достоверность экспериментальных данных нельзя оценить только средней прочностью глин. Неоднородность структуры любых глинистых материалов, а также неодинаковость условий их испытания приводят к естественному разбросу получаемых результатов, поэтому важным показателем их достоверности является коэффициент вариации прочности. При решении практических задач за величину допустимой общей ошибки обычно принимают не выше 5%, что обеспечивается увеличенным числом измерений (определений) для каждой исследуемой партии и их статистической обработкой. Основная цель статистической обработки состояла в том, чтобы определить доверительный интервал внутри которого с заданной вероятностью располагается среднее значение предельного сопротивления материала при том или ином напряженном состоянии. Для этого на основании  $n$  испытаний  $\sigma_i$  ( $i=1,2,3...$ ) вычислено среднее значение  $\sigma$ , квадраты погрешностей отдельных испытаний и на их основе среднеквадратичное отклонение  $S_n$  (эмпирический стандарт):

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\sigma_i - \sigma)^2}{n-1}} \quad (1)$$

где,  $\sigma$  — среднее предельное напряжение;  $\sigma_i$  — его отдельные значения.

Коэффициент вариации определен отношением:

$$V = \frac{S_n}{\sigma_i} 100 \% ; \quad (2)$$

Границы доверительного интервала  $\Delta\sigma_i$  находим по формуле:

$$\Delta\sigma_i = \frac{t_p(n)S_n}{\sqrt{n}} ; \quad (3)$$

где  $t_p(n)$  — коэффициенты Стьюдента, зависящие от выбранной величины надежности  $P$  и от количества опытных образцов.

Учитывая, то что на каждый вид соотношений напряжений было испытано ограниченное количество образцов, статистическая отбраковка осуществлена только при стандартных испытаниях [5]. Чтобы выяснить, является ли испытание достоверным, проверено условие:

$$\frac{(\sigma_i - \sigma_{n-1})}{S_{n-1}} \geq t_{p(n-1)} \quad (4)$$

Образец забраковывался, если это условие соблюдалось.

Среднее квадратичное отклонение прочности, вычисленное на основании результатов испытаний образцов из модифицированной глины при содержании отходов 1%, составляет 4,00 МПа для кубов и 3,45 МПа для призм, коэффициент вариации равен соответственно 4,28% и 5,41%, т.е. процент изменчивости призмной прочности незначительно выше, чем кубиковой. Испытанием образцов из обычной глины получена средняя кубиковая и призмная прочности равные соответственно 2,56 МПа и 2,1 МПа, Разброс значений прочности призмных образцов больше, чем у кубиковых, это объясняется непостоянством гранулометрического состава исходной глины и погрешности прессового оборудования. Коэффициенты вариации прочности для модифицированной глины с 1% волокном (4,28%) оказались меньшими по сравнению с модифицированной глиной с 5% содержанием волокон (6,21%) и это дает основание сделать вывод о существенном влиянии содержания волокон, на свойства модифицированной глины. При большем содержании волокон ухудшается однородность структуры материала.

Также наблюдается увеличение коэффициента вариации у термообработанных образцов по сравнению с образцами без термообработки. Доверительная вероятность показателя прочности модифицированной глины, как у обычного бетона, однородность бетона признается удовлетворительной, если  $v$  имеет значения не более 0,135% (или 13,5%). Правильно организованное производство бетона позволят достигать значения  $v=7-8$  % или еще ниже [6] и это близко к коэффициенту вариации МГ(5-9%) может быть установлена не ниже 0,95 [7]. В этом случае число стандартов (показатель надежности) математической статистики определятся величиной  $\eta=1,64$ . Используя статистическую изменчивость прочности МГ (коэффициент вариации), определяется нормативное сопротивление модифицированной глины [8].

Изучены химические, физико-механические и гранулометрические составы суглинков месторождений Хорезмского вилоята, являющихся сырьем для зданий из глиноматериалов. По содержанию  $Al_2O_3$  суглинки Хорезмского вилоята относятся к кислой группе. По

содержанию красящих окислов — к высокосодействующим красящим окислов и отличается большим содержанием  $K_2O$  и  $Na_2O_3$  включений. Вместе с тем в глинах Хорезмского региона больше несвязанного кварца (17,4%), отрицательно влияющих на сцепляемость. К тому же по пластичности суглинки относятся к умеренным, по гранулометрическому составу содержание мелких фракций (0,001–0,005) в два раза меньше по отношению среднего уровня глин других регионов Узбекистана. По засоленности Хорезмская глина занимает одно из ведущих (0,2) мест в Республике [9, 10].

Определены объемы годового отхода легкой промышленности Хорезмского вилоята, изучены свойства и составы волокон являющихся сырьем для модификации глины. Установлено, что 90% отходов состоят из искусственных волокон: нитрона, капрона и вискозы. Годовой объем волокнистых отходов составляет около 800 т.

Изучено влияние влажности на физико-механические свойства глинистого сырья и предложен коэффициент по определению расчетного количества воды для приготовления смеси модифицированной глины. В зависимости от влажности карьерной глины и процента содержания волокон оно колеблется от 1,04% до 1,24%. Формовочная относительная влажность смеси должна быть в пределах 19,4–23,1%.

Определен оптимальный процент содержания волокон при модификации глин с использованием различного вида отходов, а именно для отходов ковроткацкого и текстильного производства — 1,0% волокон по массе. При установленном проценте содержания волокнистой массы получены наилучшие результаты, а именно: увеличение кубиковой прочности на 50–60%, призмной прочности на 65–70%, прочности на осевое растяжение на 45–50% и начального модуля упругости на 70–80% по сравнению с аналогичными показателями обычной глины. Разработанный оптимальный состав признан изобретением и защищен патентом Республики Узбекистан за №5887 от 30.09.1999 г.

Установлены зависимости между призмной и кубиковой прочностями ( $R_{np}/R_{куб}$ ), сопротивлением на осевое растяжение и сжатие ( $R_p/R_{куб}$ ), а также начальным модулем упругости и кубиковой прочностью модифицированной глины.

Глина благодаря модификации становится формоустойчивым (обычная глина не обладает формоустойчивостью) и нехрупким материалом. Формоустойчивость образцов из модифицированной глины составляет 85% от разрушающих напряжений. Средняя предельная сжимаемость призм из модифицированной глины в два раза больше, чем у обычной глины.

Модификации уменьшают усадку образцов глины на 60–70% в зависимости от содержания модифицирующих волокнистых отходов. Модификации глины волокнистыми отходами и последующая термообработка улучшает морозостойкость, и водостойкость материала эти свойства зависят от процента содержания волокон, температуры термообработки и времени выдержки материала в печи. Чем дольше время выдержки модифицированной глины в печи тем она становится более морозостойкой. Например: у серии 3 (с 1% содержанием волокон) время выдержки 4 часа — морозостойкость 5 циклов, а для 9 серии (с 8% содержанием волокон) образцов с выдержкой 4 ч, морозостойкость 15 циклов.

Хотя термообработка улучшает влагоустойчивость и морозостойкость, термообработанные образцы из модифицированной глины уступают по прочности аналогичным образцам без термообработки на 16–20%, в то время даже этот показатель лучше, на 30–40% чем у обычного образца с термообработкой. Современные методы исследования структуры модифицированной глины показывают, что в сочетании с



упрочняющим эффектом равномерно расположенные волокна улучшают эксплуатационные характеристики материала. При увеличении содержания волокон более чем 1% структура материала становится рыхлым, приводящим к снижению прочностных свойств. Термообработка же превращает эту рыхлую структуру в плотную и от этого улучшается влаго- и морозоустойчивость МГ за счет расплавленных и взаимно склеенных волокон.

Обработкой результатов испытаний получено отклонение по прочности МГ: при действии сжимающих напряжений 4,5–9%, при действии растягивающего напряжения — 5–8%. Установлено, что при большем содержании волокон ухудшается однородность структуры материала и увеличивается коэффициент вариации. Также наблюдается увеличение коэффициента вариации у термообработанных образцов по сравнению с образцами без термообработки.

#### *Список литературы:*

1. Каримов И. А. Биздан озод ва обод Ватан колсин. Т. 2. Ташкент: Узбекистон, 1996. 380 с.
2. Рузиев К. И. Упрочнение глинокамня как конструкционного материала построечных условиях. Отчет по теме 30.6. ТАСИ, 1996. 30 с.
3. Туманова А. Т. Монокристалльные волокна и армированные ими материалы. М.: Мир, 1973. 463 с.
4. Налимов В. В. Теория эксперимента. М.: Наука, 1971. 208 с.
5. Ахмедов К. С., Арипов Э. А., Вирская Г. М. Водорастворимые полимеры и их взаимодействие с дисперсными системами. Ташкент: Фан, 1969. 251 с.
6. Веденяпин Г. В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. Сталинград, 1959. 111 с.
7. Рекомендации по статистическим методом контроля и оценки прочности бетона с учетом его однородности по ГОСТ 18105-86. М: Стройиздат, 1989. 63 с.
8. Рузиев К. И., Хаджиев И.М., Турсунов С. Строительство домов со стенами из модифицированной глины // Экология и ресурсосбережение в материаловедении: сборник научных трудов. Новосибирск, 2000. С. 44 -48.
9. Рузиев К. И., Хаджиев И. М. Прочность модифицированной глины на растяжение // Структура и свойства искусственных конгломератов: сборник научных трудов НГАУ РАЕН, Новосибирск, 2003. С. 83-85
10. Хужаниезов Ш. Р., Сиддиқов М. Х. Долговечность глинобитных памятников архитектуры Хорезмского оазиса // Бюллетень науки и практики. 2020. Т. 6. №12. С. 472-476. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/61/58>

#### *References:*

1. Karimov, I. A. (1996). Bizdan ozod va obod Vatan kolsin. 2. Tashkent.
2. Ruziev, K. I. (1996). Uprochnenie glinokamnya kak konstruksionnogo materiala postroechnykh usloviyakh. Otchet po teme 30.6. Tashkent.
3. Tumanova, A. T. (1973). Monokristal'nye volokna i armirovannye imi materialy. Moscow.
4. Nalimov, V. V. (1971). Teoriya eksperimenta. Moscow. (in Russian).
5. Akhmedov, K. S., Aripov, E. A., & Virskaya, G. M. (1969). Vodorastvorimye polimery i ikh vzaimodeistvie s dispersnymi sistemami. Tashkent.
6. Vedenyapin, G. V. (1959). Obshchaya metodika eksperimental'nogo issledovaniya i obrabotki opytnykh dannykh. Stalingrad. (in Russian).

7. Rekomendatsii po statisticheskim metodom kontrolya i otsenki prochnosti betona s uchetom ego odnorodnosti po GOST 18105-86 (1989). Moscow. (in Russian).

8. Ruziev, K. I., Khadzhiev, I. M., & Tursunov, S. (2000). Stroitel'stvo domov so stenami iz modifitsirovannoi gliny. In *Ekologiya i resursosberezhenie v materialovedenii: sbornik nauchnykh trudov*, Novosibirsk, 44 -48. (in Russian).

9. Ruziev, K. I., & Khadzhiev, I. M. (2003). Prochnost' modifitsirovannoi gliny na rastyazhenie. In *Struktura i svoistva iskusstvennykh konglomeratov: sbornik nauchnykh trudov NGAU RAEN*, Novosibirsk. 83-85. (in Russian).

10. Khuzhanieзов, Sh., & Siddikov, M. (2020). Durability of Clay Architecture Monuments of Khorezm Oasis. *Bulletin of Science and Practice*, 6(12), 472-476. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/61/58>

Работа поступила  
в редакцию 15.11.2021 г.

Принята к публикации  
17.11.2021 г.

---

Ссылка для цитирования:

Сиддиков М. Х. Исследования структуры и физико-механических свойств модифицированной глины // Бюллетень науки и практики. 2021. Т. 7. №12. С. 185-191. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/73/25>

Cite as (APA):

Siddikov, M. (2021). Research of the Structure and Physical-Mechanical Properties of Modified Clay. *Bulletin of Science and Practice*, 7(12), 185-191. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/73/25>