

## ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА СИЛИКАТНОЙ СВЯЗКЕ, ПОЛУЧЕННЫЙ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ РИСА

Аунг Хгуг Тху, Захаров А.И.

*В данной работе рассматривается использование отходов сельского хозяйства (рисовой шелухи) в качестве сырья для производства теплоизоляционных материалов, что обеспечивает снижение энергопотребления, повышения экономичности и экологичности производства.*

**Ключевые слова:** теплоизоляция, жидкое стекло, рисовая шелуха,

### Введение

Рисовая шелуха (РШ) подвергнутая физико-химической обработке может служить ценным сырьем для производства различных соединений кремния, обладающих уникальными свойствами. Химический состав всех рисовых отходов (зерно 52%, шелуха 20%, солома 14%, отруби 10%, потери 4%) зависит от вида риса, времени посадки, климата и географического положения [1]. Рисовая шелуха содержит различные полимерные органические соединения: 30-35% клетчатки, 18-20% гемицеллюлозы, 25-30% лигнина, пентозанов, небольшое количество белка и витаминов, 5-10% влаги и 16-20% кремнезема. РШ имеет высокую зольность, сжигание шелухи, полученной при переработке одной тонны риса, дает около 40 кг мелкодисперсной золы [2, 3], поэтому использование ее в качестве топлива неэффективно. В золе РШ содержится 88-98 % кремнезема, при такой большой зольности кремнезем РШ становится экономичным сырьем для получения композиционных материалов, в том числе теплоизоляции [4].

В последнее время большое внимание уделяется использованию растительного возобновляемого сырья (отходов деревообработки, растительных волокон и пр.) в технологии композиционных материалов конструкционного и теплоизоляционного назначения. Основным недостатком большинства таких материалов – недостаточная водостойкость, которую повышают использованием полимерных связующих, при этом снижается экологический эффект использования природного сырья и не улучшается огнестойкость [5]. Известны также материалы, содержащие продукты растительного происхождения, в том числе шелухи риса, на основе цементных связующих [6, 7].

Известно использование жидкого стекла в строительстве в качестве теплоизоляции различных строительных конструкций и деталей [8], теплоизоляционные свойства которых зависят от типа, количества наполнителя и связующего.

Целью работы было получение теплоизоляционных материалов с использованием рисовой шелухи и продуктов ее переработки, не уступающих по своим свойствам материалам на основе цементных связующих.

Задачами исследований были разработка композиционного материала на основе РШ и натриевого жидкого стекла, полученного из золы РШ, а также исследование свойств полученного материала.

### Материалы и методы

В данной работе использовали шелуху риса, выращенного во Вьетнаме и несколько продуктов ее переработки – измельченную РШ, специально синтезированный кремнезем РШ и натриево жидкое стекло, полученной из кремнезема РШ.

В качестве отвердителя использовали гексафторсиликат натрия ( $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ ), введение которого вызывает быструю коагуляцию кремнекислоты вокруг поверхности зерна наполнителя.

Основной наполнитель получаемых материалов – РШ имел чешуйчатое строение с размером частиц до 5 мм.

РШ промывали и сушили при температуре 60–80 °С в течение 20 ч, после чего подвергали измельчению в течение 2 - 5 ч в шаровой мельнице с мялещими телами из оксида алюминия. Просеянная через сито 08 РШ имела зерновой состав, представленный в основном частицами менее 150 мкм и использовалась нами в качестве наполнителя мелкой фракции (далее порошок рисовой шелухи – ПРШ).

Зола РШ в виде порошка кремнезема белого цвета была получена путем сжигания в течение 6 часов РШ при 500–800 °С в печи электросопротивления при свободном доступе воздуха. Зола РШ (ЗРШ) использовали в качестве добавки, способствующей отверждению натриевого силикатного стекла.

В качестве связки композиционного материала использовали натриево жидкое стекло (раствор силиката натрия), полученное автоклавным и безавтоклавным способами [9] из золы рисовой шелухи. Автоклавную варку проводили при температуре 180 - 200 °С и давлении 8 - 12 бар, безавтоклавную - при 120 °С. Полученные стекла имели модуль 2,5 и плотность 1,89 - 1,30 г/см<sup>3</sup>.

Образцы композиционных материалов в виде балок и пластин получали последовательным смешиванием исходной РШ, измельченной РШ и ЗРШ с введением в качестве связки жидкого стекла, формованием и отверждением в течении 72 часов, при этом последнюю стадию отверждения проводили при температуре 100° С.

Для сравнения готовили образцы, в которых в качестве связки использовали стандартное жидкое стекло (модуль 2,5, плотность 1,289 г/см<sup>3</sup>). Проведенные ранее исследования показали, что полученное из РШ растворимое стекло превосходит по своим адгезионным свойствам стандартное [10].

Испытания прочности образцов проводили методом трехточечного изгиба на универсальной испытательной машине модели LT-0950-DN Forney, теплопроводность определяли методом стационарного потока на измерителе теплопроводности ИТП-100.

### Результаты и обсуждение

Исходя из низкой насыпной плотности наполнителей (РШ, ЗРШ), массовая доля вводимой связки, которое обеспечивало ее распределение по объему наполнителя, оказалась достаточно велика. Предварительные эксперименты показали, что при введении связующего в количестве меньше 50% не удается получить образцы без повреждений в виде трещин, при введении

количества связки более 80 %, образцы деформируются. Достаточное количество связки, которое обеспечивает удовлетворительное качество образцов, было определено как 60 %. Оптимальное содержание добавки ЗРШ было определено как 5 %, содержание отвердителя – 15 % относительно массы жидкого стекла.

В табл.1 приведены результаты измерений образцов различных составов, полученных с использованием стандартного жидкого стекла (СЖС) и жидких стекол, синтезированных из ЗРШ автоклавным (АЖС) и

безавтоклавным (БЖС) способами. Образцы характеризовались низкой теплопроводностью (0,064 – 0,069 Вт /м·К), но различной прочностью. Максимальную прочность при достаточно низкой теплопроводности показали образцы с соотношением мелкого наполнителя (ПРШ) к крупному (РШ) как 3:1, при этом прочность образцов, изготовленных на синтезированных жидких стеклах, превосходила прочность образцов на стандартном жидком стекле.

Таблица 1 – Свойства образцов различного состава

№	Связка	Содержание, %		Свойства образцов		
		РШ	ПРШ	Плотность (г/см <sup>3</sup> )	Предел прочности при изгибе, МПа	Теплопроводность, Вт /м·К
1.1	СЖС	10	30	0,45	0,63	0,069
1.2	СЖС	20	20	0,40	0,50	0,064
2.1	АЖС	10	30	0,47	0,80	0,069
2.2	АЖС	20	20	0,43	0,59	0,063
3.1	БЖС	10	30	0,48	0,79	0,069
3.2	БЖС	20	20	0,43	0,58	0,065

Дальнейшие эксперименты были посвящены определению уточнению влияния количества вводимой связки на свойства образцов. При введении разного количества связки были получены образцы различной плотности (табл. 2). Небольшое увеличение плотности образцов одних составов, наблюдаемое при переходе их формования от связки СЖС до АЖС и БЖС, вероятно, связано с различием плотностей жидких стекол (1,289; 1,295 и 1,30 г/см<sup>3</sup>, соответственно).

На рис. 1 показаны зависимости предела прочности при изгибе образцов, формованных на различных связках, от их плотности. Приведены также линии трендов для составов с разными связками, которые с долей вероятности более 90 % указывают на линейную зависимость прочности от плотности в измеренном диапазоне.

эффективной теплоизоляции на основе предлагаемых составов желательна, чтобы их плотность не превышала 0,5 г/см<sup>3</sup>.

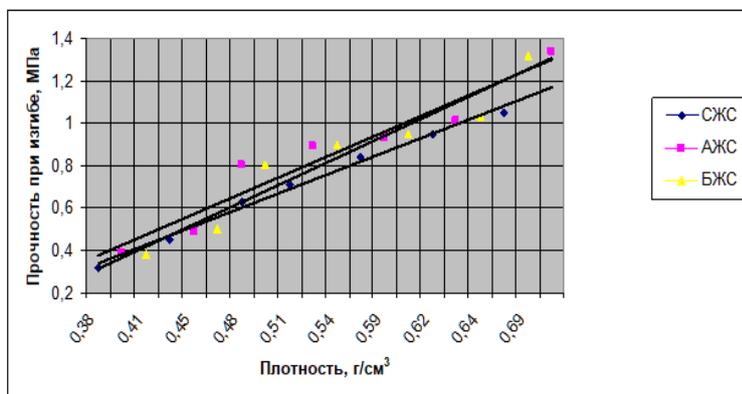


Рисунок 1 – Предел прочности при изгибе образцов, полученных с использованием различного количества связующих

Таблица 2 – Плотность образцов с различным содержанием связки

№	Содержание связки, %	Плотность образцов, формованных на различных связках, г/см <sup>3</sup>		
		СЖС	АЖС	БЖС
1	50	0,38	0,40	0,41
2	55	0,43	0,45	0,46
3	60	0,48	0,48	0,49
4	65	0,51	0,53	0,54
5	70	0,56	0,59	0,60
6	75	0,62	0,63	0,64
7	80	0,67	0,71	0,69

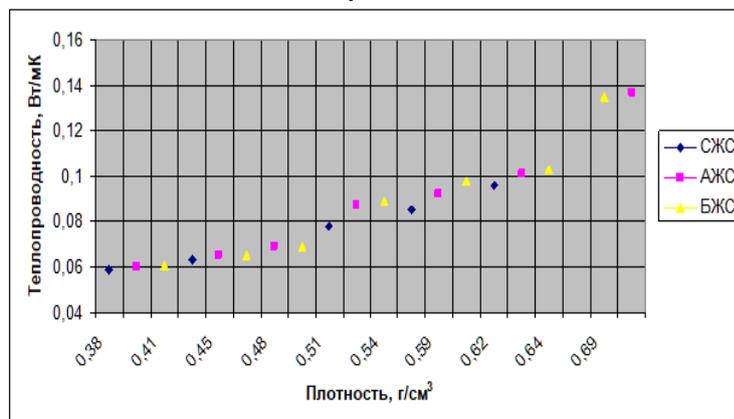


Рисунок 2 – Теплопроводность образцов, полученных с использованием различного количества связующих

Зависимость теплопроводности композиционных образцов от их плотности не так однозначна. На рис.2 показан ее нелинейный характер: в диапазоне плотностей 0,38 - 0,48 г/см<sup>3</sup> теплопроводность образцов меняется мало и составляет 0,06 – 0,07 Вт/м·К, далее при изменении плотности от 0,5 до 0,65 г/см<sup>3</sup> наблюдали линейный рост теплопроводности до 0,1 Вт/м·К, после увеличения плотности до 0,7 г/см<sup>3</sup> теплопроводность резко возрастала до 0,135 Вт/м·К. Из полученных результатов можно сделать вывод, что для получения

Недостатком материалов теплоизоляционных материалов низкой плотности, в составе которых используются растительные отходы, формируемых без приложения давления, можно считать невысокое качество поверхности, обладающей шероховатостью и

высокой открытой пористостью, способствующей водопоглощению. Для уменьшения водопоглощения стены из подобных материалов, как правило, покрывают плотным слоем штукатурной смеси [11, 12]. Поверхность образцов покрывали составом, содержащим тонкодисперсный (размер частиц не более 50 мкм) порошок измельченной рисовой шелухи, ЗРШ и АЖС с отвердителем. Уплотнение поверхностного слоя образцов позволило улучшить качество поверхности и значительно снизить водопоглощение. Для материалов на основе цементного вяжущего типа арболита допустимо водопоглощение до 85 % [13,14]. Полученные образцы обладают таким водопоглощением, а образцы с нанесенным покрытием, подвергнутые последующей шлифовке, имеют водопоглощение в 2-3 раза меньше.

#### Литература:

1. Перспективные методы переработки рисовой лузги. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.newchemistry.ru/printletter.php?%20n\\_id=%206216](http://www.newchemistry.ru/printletter.php?%20n_id=%206216). Дата обращения: 21.7.2018
2. S. Chandrasekhar., Review Processing, properties and applications of reactive silica from rice husk—an overview // K. G. Satyanarayana, P. N. Pramada, P. Raghavan, T. N. Gupta, *Journal of Materials Science*, August 2003, Volume 38, *Issue 15*, p. 3159 – 3168.
3. Bajirao S. Todkar1, Extraction of Silica from Rice Husk/ Onkar A. Deorukhkar, Satyajeet M. Deshmukh// *International Journal of Engineering Research and Development*, Volume 12, Issue 3 (March 2016), P.69 - 74.
4. Sun, L. Y.; Gong, K. C., Silicon-based materials from rice husks and their applications. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 2001, 40 (25), P. 5861 - 5877.
5. Kim, H.-S.; Yang, H.-S.; Kim, H.-J.; Park, H.-J., Thermogravimetric analysis of rice husk flour filled thermoplastic polymer composites. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 2004, 76 (2), P. 395 - 404.
6. ГОСТ Р 54854-2011. Бетоны легкие на органических заполнителях растительного происхождения. Технические условия [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-54854-2011>, (дата обращения: 21.9.2018)
7. Высокоэффективный пенобетон с применением золы рисовой шелухи. [Электронный ресурс].Режим доступа: <http://tekhnosfera.com/vysokoeffektivnyy-penobeton-s-primeneniem-zoly-risovoy-sheluhi> (дата обращения: 22.7.2018)
8. Корнеев В.И., Данилов В.В. Жидкое и растворимое стекло.- СПб.: Стройиздат, 1996. — 216 с.
9. Тху А.Х., Захаров А.И. Получение неорганической связки для холоднотвердеющих смесей. *Новые огнеупоры*. 2018 №6. С.41 - 45.
10. Аунг Хтут Тху, Захаров А.И., Маляров А.И. Свойства холоднотвердеющих смесей с жидкостекольным связующим, полученным из сельскохозяйственных отходов. *Литейное производство*, №9, 2018, С.22 - 25
11. Satta Panyakaew., Agricultural waste materials as thermal insulation for dwellings in Thailand: preliminary results/ Steve Fotios/ In: (Passive and Low Energy Architecture) PLEA–25th conference on passive and low energy architecture, Durbin, 22–24October 2008, P. 3-21.

#### Выводы

В результате работы на основе продуктов переработки отходов производства риса – рисовой шелухи, порошка измельченной рисовой шелухи, ее золы и синтезированного из нее натриевого жидкого стекла были получены материалы, не уступающие по своим техническим характеристикам материалам на основе цементных вяжущих и древесных отходов. Преимуществами разработанных материалов могут служить не только дешевизна сырья, используемого для их получения, но то, что при их производстве частично решается экологическая проблема утилизации сельскохозяйственных отходов.

#### References:

1. Perspektivnyye metody pererabotki risovoy luzgi. [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: [http://www.newchemistry.ru/printletter.php?%20n\\_id=%206216](http://www.newchemistry.ru/printletter.php?%20n_id=%206216). Data obrashcheniya: 21.7.2018
2. S. Chandrasekhar., Review Processing, properties and applications of reactive silica from rice husk—an overview // K. G. Satyanarayana, P. N. Pramada, P. Raghavan, T. N. Gupta, *Journal of Materials Science*, August 2003, Volume 38, *Issue 15*, p. 3159 – 3168.
3. Bajirao S. Todkar1, Extraction of Silica from Rice Husk/ Onkar A. Deorukhkar, Satyajeet M. Deshmukh// *International Journal of Engineering Research and Development*, Volume 12, Issue 3 (March 2016), P.69 - 74.
4. Sun, L. Y.; Gong, K. C., Silicon-based materials from rice husks and their applications. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 2001, 40 (25), P. 5861 - 5877.
5. Kim, H.-S.; Yang, H.-S.; Kim, H.-J.; Park, H.-J., Thermogravimetric analysis of rice husk flour filled thermoplastic polymer composites. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 2004, 76 (2), P. 395 - 404.
6. GOST R 54854-2011. Betony legkiye na organicheskikh zapolnitelyakh rastitel'nogo proiskhozhdeniya. Tekhnicheskiye usloviya [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-54854-2011>, (Data obrashcheniya: 21.9.2018)
7. Vysokoeffektivnyy penobeton s primeneniem zoly risovoy shelukhi. [Elektronnyy resurs].Rezhim dostupa: <http://tekhnosfera.com/vysokoeffektivnyy-penobeton-s-primeneniem-zoly-risovoy-sheluhi> (Data obrashcheniya: 22.7.2018)
8. Korneyev V.I., Danilov V.V. Zhidkoye i rastvorimoye steklo.- SPb.: Stroyizdat, 1996. — 216 s.
9. Tkhu A.KH., Zakharov A.I. Polucheniye neorganicheskoy svyazki dlya kholodnotverdeyushchikh smesey. *Novyye ogneupory*. 2018 №6. S.41 - 45.
10. Aung Khtut Tkhu, Zakharov A.I., Malyarov A.I. Svoystva kholodnotverdeyushchikh smesey s zhidkostekol'nym svyazuyushchim, poluchennym iz sel'skokhozyaystvennykh otkhodov. *Liteynoye proizvodstvo*, №9, 2018, S.22 - 25
11. Satta Panyakaew., Agricultural waste materials as thermal insulation for dwellings in Thailand: preliminary results/ Steve Fotios/ In: (Passive and Low Energy Architecture) PLEA–25th conference on passive and low energy architecture, Durbin, 22–24October 2008, P. 3-21.

12. Axel Berge, Pär Johansson., Literature Review of High Performance Thermal Insulation, Report in Building Physics, Gothenburg, Sweden 2012. [Электронный ресурс] Режим доступа: [http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/local\\_159807.pdf](http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/local_159807.pdf) (дата обращения: 21.9.2018)
13. Арболитовые блоки - недостатки, достоинства и характеристики [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://srbu.ru/stroitelnye-materialy/223-arbolitovye-bloki-nedostatki-dostoinstva-i-kharakteristiki.html> (дата обращения: 21.9.2018)
14. Арболит Линии по производству арболита [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.arbolit.com/harakteristiki#> (дата обращения: 21.9.2018)
- Architecture) PLEA–25th conference on passive and low energy architecture, Durbin, 22–24 October 2008, P. 3-21.
12. Axel Berge, Pär Johansson., Literature Review of High Performance Thermal Insulation, Report in Building Physics, Gothenburg, Sweden 2012. [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: [http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/local\\_159807.pdf](http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/local_159807.pdf) (Data obrashcheniya: 21.9.2018)
13. Arbolitovyie bloki - nedostatki, dostoinstva i kharakteristiki [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <https://srbu.ru/stroitelnye-materialy/223-arbolitovye-bloki-nedostatki-dostoinstva-i-kharakteristiki.html> (Data obrashcheniya: 21.9.2018)
14. Arbolit Linii po proizvodstvu arbolita [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.arbolit.com/harakteristiki#> (Data obrashcheniya: 21.9.2018)
- 

*Аунг Хтут Тху, аспирант* кафедры общей технологии силикатов РХТУ им. Д.И. Менделеева, Россия, Москва.

*E-mail:* [aunghtutthu1991@gmail.com](mailto:aunghtutthu1991@gmail.com)

*Захаров Александр Иванович, к.т.н., заведующий* кафедры общей технологии силикатов РХТУ им. Д.И. Менделеева, Россия, Москва. *E-mail:* [alezakharov@rambler.ru](mailto:alezakharov@rambler.ru)