



РАЗРАБОТКА СУХОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ СМЕСИ С ДОБАВКОЙ БИОУГЛЯ ИЗ РИСОВОЙ СОЛОМЫ

А. К. Халюшев¹, А. С. Смоляниченко²

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»,

д. 162, ул. Социалистическая, г. Ростов-на-Дону, Россия, 344022.

E-mail: ¹khaljusev@mail.ru, ²arpis-2006@mail.ru

Получена 28 августа 2020; принята 25 сентября 2020.

Аннотация. При решении вопроса об утилизации отходов рисоводческих хозяйств с целью снижения негативного воздействия на окружающую среду при их сжигании возник ряд направлений возможного применения данных отходов в различных отраслях экономики. Одним из таковых направлений является использование биоугля рисовой соломы в качестве добавки в сухой цементной смеси. На сегодняшний день в качестве аналогичных добавок используют как природные минеральные материалы, так и синтетические отходы различных производств. Применение добавок имеет различное назначение – либо корректировать исходное качество смеси, либо повышать количество готовой смеси без снижения ее исходного качества. В статье представлены физико-химические и качественные свойства заявляемой сухой цементной смеси, на основании которых можно сделать вывод о перспективе ее применении в строительстве.

Ключевые слова: сухая строительная смесь, рисовая солома, биоуголь, карбонизация.

РОЗРОБКА СУХОЇ БУДІВЕЛЬНОЇ СУМІШІ З ДОБАВКОЮ БІОВУГІЛЛЯ З РИСОВОЇ СОЛОМИ

О. К. Халюшев¹, А. С. Смоляниченко²

ФДБОУ ВО «Донський державний технічний університет»,

д. 162, вул. Соціалістична, м. Ростов-на-Дону, Росія, 344022.

E-mail: ¹khaljusev@mail.ru, ²arpis-2006@mail.ru

Отримана 28 серпня 2020; прийнята 25 вересня 2020.

Анотація. При вирішенні питання про утилізацію відходів рисових господарств з метою зниження негативного впливу на навколишнє середовище при їх спалюванні виник ряд напрямків можливого застосування даних відходів в різних галузях економіки. Одним з таких напрямків є використання біовугілля рисової соломи як добавки в сухій цементній суміші. На сьогодні за аналогічні добавки використовують як природні мінеральні матеріали, так і синтетичні відходи різних виробництв. Застосування добавок має різне призначення – або коригувати вихідну якість суміші, або підвищувати кількість готової суміші без зниження її вихідної якості. У статті представлені фізико-хімічні та якісні властивості сухої цементної суміші, на підставі яких можна зробити висновок про перспективу її застосування в будівництві.

Ключові слова: суха будівельна суміш, рисова солома, біовугілля, коксування.

DEVELOPMENT OF DRY CONSTRUCTION MIX WITH ADDED BIOCHAR FROM RICE STRAW

Aleksandr Khalyushev¹, Alla Smolyanichenko²

Don State Technical University,

162, Sotsialisticheskaya Str., Rostov-on-Don, Russia, 344022.

E-mail: ¹khaljushev@mail.ru, ²arpis-2006@mail.ru

Received 28 August 2020; accepted 25 September 2020.

Abstract. When addressing the issue of recycling rice farm waste in order to reduce the negative impact on the environment during their incineration, a number of areas of possible application of these wastes in various sectors of the economy have emerged. One of these areas is the use of rice straw biochar as an additive in dry cement mix. Today, both natural mineral materials and synthetic waste from various industries are used as similar additives. The use of additives has a different purpose – either to correct the initial quality of the mixture, or to increase the amount of the finished mixture without reducing its original quality. The article presents the physicochemical and qualitative properties of the claimed dry cement mixture, on the basis of which one can draw a conclusion about the prospect of its use in construction

Keywords: dry mortar, rice straw, biochar, carbonation.

Введение

В настоящее время актуальной проблемой является утилизация отходов различных видов производств, в частности агропромышленного комплекса. Данное направление практически не развивается, вопрос утилизации отходов решается путем их сжигания, что приводит к росту загрязнения атмосферного воздуха. По данным Росгидромета в 2019 г. службами мониторинга природной среды зафиксирован 61 случай экстремально высокого загрязнения атмосферного воздуха (10 ПДК и более). Кроме того, зафиксировано 13 случаев аварийного загрязнения. Одним из видов отходов агропромышленного комплекса, утилизируемого путем сжигания, является рисовая солома, которая при горении образует окислы азота и серы, бензапирена, соединений тяжелых металлов, хлорорганических соединений, сажи и черного углерода. Как известно, Россия является одним из крупнейших производителей риса: валовый сбор риса в России в 2019 году составил 1 154 тыс. тонн, соответственно, объем рисовой соломы будет примерно таким же. Одним из направлений исследований, направленных на решение проблемы утилизации рисовой соломы, является применение в строительных материалах [1, 2]. Например, известны исследования физико-механических свойств

гипсовых вяжущих веществ как с прямым добавлением рисовой соломы, так и с предварительной механохимической обработкой [3–7].

Цель работы

Получение композиционной сухой строительной смеси на основе портландцемента с наполнителем из обожженной рисовой соломы и исследование ее физико-механических свойств.

Характеристика исходных материалов

Для приготовления композиционной сухой строительной смеси применяли следующие материалы: портландцемент марки ЦЕМ I 42,5Н ($S_{yd} = 3\,523 \text{ см}^2/\text{г}$) ОАО «Верхнебаканский цементный завод» г. Новороссийск; кварцевый песок ($M_k = 1,38$) Самарский песчаный карьер, Ростовская область; характеристики рисовой соломы и биоугля из рисовой соломы ($S_{yd} = 4\,052 \text{ см}^2/\text{г}$) представлены в таблице 4, 5.

Состав композиционной сухой строительной смеси готовили совместным смешиванием компонентов в определенной пропорции, представленных в таблице 1. Физико-механические свойства портландцемента марки ЦЕМ I 42,5Н и песка представлены в таблице 2 и 3.

При определении свойств натуральных волокон следует иметь в виду, что они меняются в зависимости от условий среды произрастания: тем-

пературы, влажности, состава почвы, воздуха. Возраст и тело растения влияют на высоту, плотность и прочность его волокон. Способ сбора и

Таблица 1. Состав композиционной сухой строительной смеси с добавкой биоугля из рисовой соломы

| Наименование состава | Состав композиционной сухой строительной смеси, по объему в % | | | |
|----------------------|---|-------|----------|--------------|
| | Цемент | Песок | Биоуголь | Хим. добавка |
| Контрольный 1-К | 20,0 | 80,0 | – | – |
| Разработанный 2-С | 20,0 | 70,0 | 10,0 | – |
| Разработанный 3-С | 20,0 | 70,0 | 10,0 | 1,0 |

Таблица 2. Физико-механические свойства портландцемента марки ЦЕМ I 42,5Н

| Наименование | Удельная поверхность, м ² /кг | Нормальная густота, % | Сроки схватывания, мин | | Класс прочности при сжатии на 28-е сутки, R _{сж} , МПа |
|--------------|--|-----------------------|------------------------|-------|---|
| | | | начало | конец | |
| ПЦ | 352 | 28,1 | 82 | 192 | 42,5 |

Таблица 3. Физико-механические свойства песка

| Наименование материала | Класс песка | Насыпная плотность, кг/м ³ | Истинная плотность, кг/м ³ | Пустотность, % | Содержание п.г.ч., % |
|------------------------|-------------|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------|----------------------|
| Песок кварцевый мелкий | 1 | 1 410 | 2 650 | 43,0 | 2,5 |

Таблица 4. Физические свойства рисовой соломы и биоугля

| Наименование показателя | Единицы измерения | Значение показателя, % | |
|-------------------------|--------------------|------------------------|----------|
| | | Рисовая солома | Биоуголь |
| Влагосодержание | % | 0,96 | 0,94 |
| Зольность | | 14,8 | 33,5 |
| Общая сера | | 0,19 | 0,21 |
| Суммарный объем пор | см ³ /г | 1,3 | 1,39 |
| Удельная поверхность | см ² /г | – | 4 052 |
| Насыпная плотность | кг/м ³ | 270 | – |

Таблица 5. Химический состав рисовой соломы и биоугля

| Материал | Содержание оксидов, % | | | | | | | | | |
|----------------|-----------------------|------------------|--------------------------------|-------------------|------|------|------------------|-------------------|-----------------|-------------------------------|
| | CO ₂ | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Cl ₂ O | CaO | MgO | K ₂ O | Na ₂ O | SO ₃ | P ₂ O ₅ |
| Рисовая солома | 69,50 | 20,78 | 0,26 | 2,51 | 1,18 | 0,78 | 2,50 | 1,49 | 0,62 | 0,36 |
| Биоуголь | 76,76 | 13,8 | 0,34 | 3,96 | 1,36 | 0,44 | 1,08 | 1,59 | 0,66 | – |

обработки растений также приводит к изменению характеристик волокон. Химический состав и свойства рисовой соломы зависят от времени посадки, типа риса, климата, источника воды и географических условий [8]. Для изучения состава рисовой соломы был применен метод энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии.

Термическую активацию рисовой соломы в муфельной печи проводили для получения материала с целью использования его в качестве добавки в цементной смеси в следующей последовательности: рисовую солому (после химической активации) нагревали до температуры 500–600 °С в печи, затем выдерживали при данной температуре в течение 1 часа. После нагревания в печи и последующего охлаждения в эксикаторе частицы рисовой соломы были раздроблены и фракционированы, для дальнейших экспериментов применялся биоуголь фракцией 0,16 мм (рис. 1).

Качественный EDX-спектр анализ поверхности рисовой соломы представлен на рисунке 3а, а биоугля из рисовой соломы, полученного при температуре 600 °С, на рисунке 3б. Исследование проводилось на сканирующем электронном микроскопе ModelQuanta 250 FEG с блоком EDX-спектроскопии.

Был проведен термический анализ рисовой соломы в процессе ее нагревания с помощью прибора NETZSCH-SAT-449, который совмещает функции термовесов и сканирующего калориметра, при следующих параметрах:

- температура нагрева – 600 °С;
- скорость нагрева – 30 °С мин в атмосфере статического воздуха;
- тигель DSC/TG из алюминия.

Согласно данным проведенного термогравиметрического анализа получены четыре температурные зоны: от комнатной температуры до 120 °С, от 120 до 370 °С, от 370 до 500 °С и от 500 до 600 °С в зависимости от потери веса, данные кривые изображены на рисунке 2.

В первой зоне при нагревании рисовой соломы до 120 °С из-за потери влаги убыль массы составила около 6,46 %. Во второй зоне при нагревании от 120 до 370 °С зарегистрирована значительная потеря массы около 50,12 %, что объясняется деградацией связанного с целлюлозой компонента с образованием углерода. В третьей зоне при нагреве от 370–500 °С лигнин разлагался с потерей массы около 13,8 %, что указывает на его лучшую стабильность по сравнению с целлюлозой и гемицеллюлозой. В четвертой зоне нагрева от 500 до 600 °С потеря массы была малой – 9,08 %, поэтому карбонизация была остановлена при 600 °С. Конечная масса карбонизированной соломы составила около 15 % от первоначальной. Это указывает на то, что все органические вещества соломы полностью превращены в углерод. Исходя из полученных результатов оптимальную температуру карбонизации рисовой соломы принимаем 600 °С.

Также была снята рентгенограмма биоугля из рисовой соломы, которая изображена на рисунке 4.

Образцы рентгеновской дифракции, показывают, что пики при 2 θ , равные 16 и 22 (характеристики кристаллитов целлюлозы), в рисовой соломе исчезают и появляются два новых широких пика при 2 θ : 25–30 и 38–42, свидетельствующих о графитовой структуре биоугля.



Рисунок 1. Общий вид карбонизированной рисовой соломы до и после измельчения.

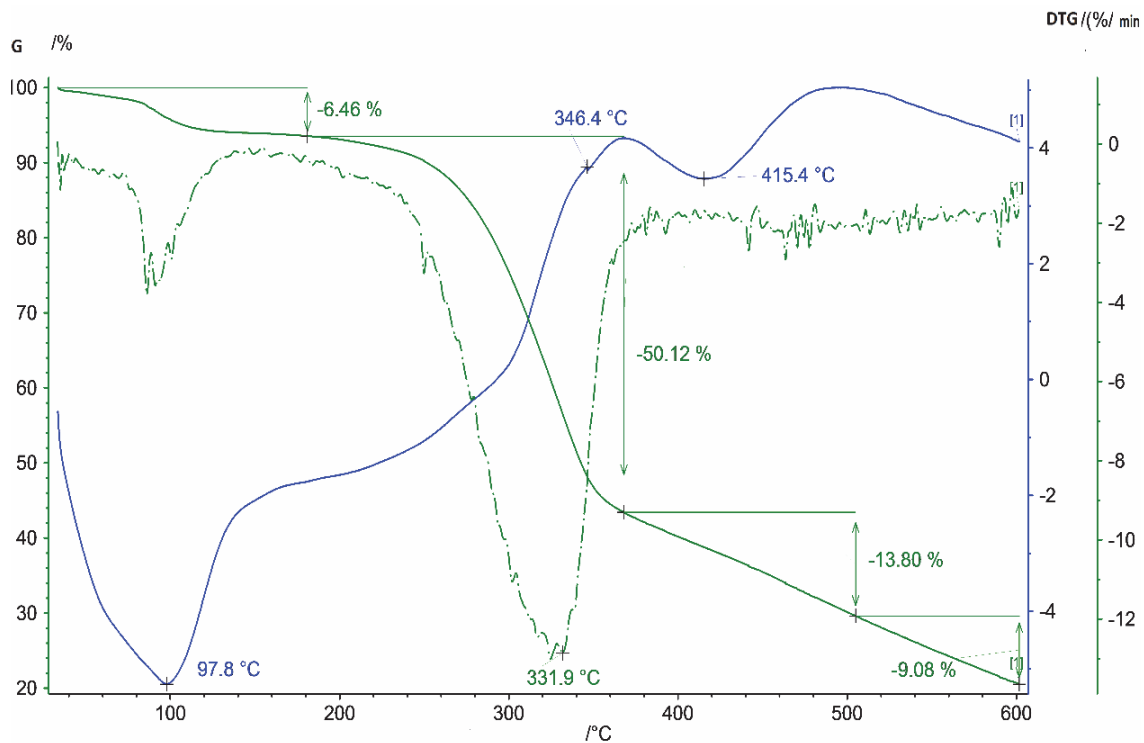


Рисунок 2. График TG-DTG (термогравиметрии) РСII.

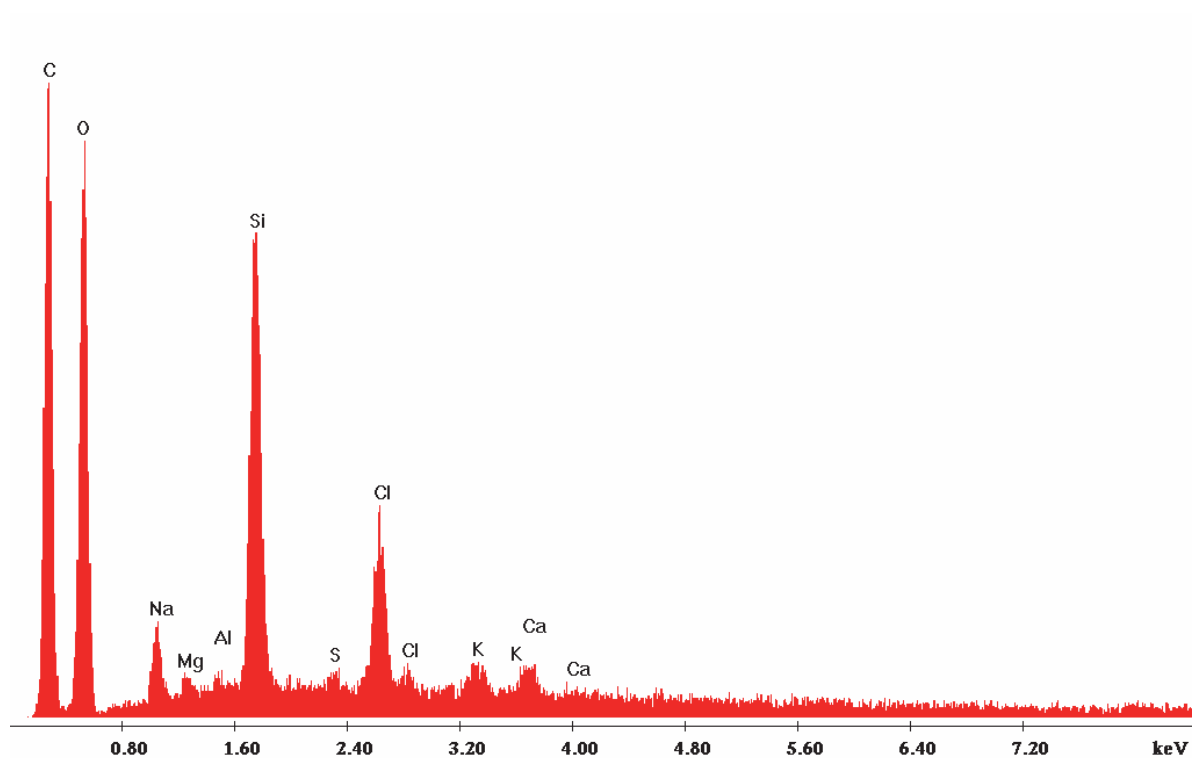


Рисунок 3а. Качественный EDX-спектр анализ поверхности рисовой соломы.

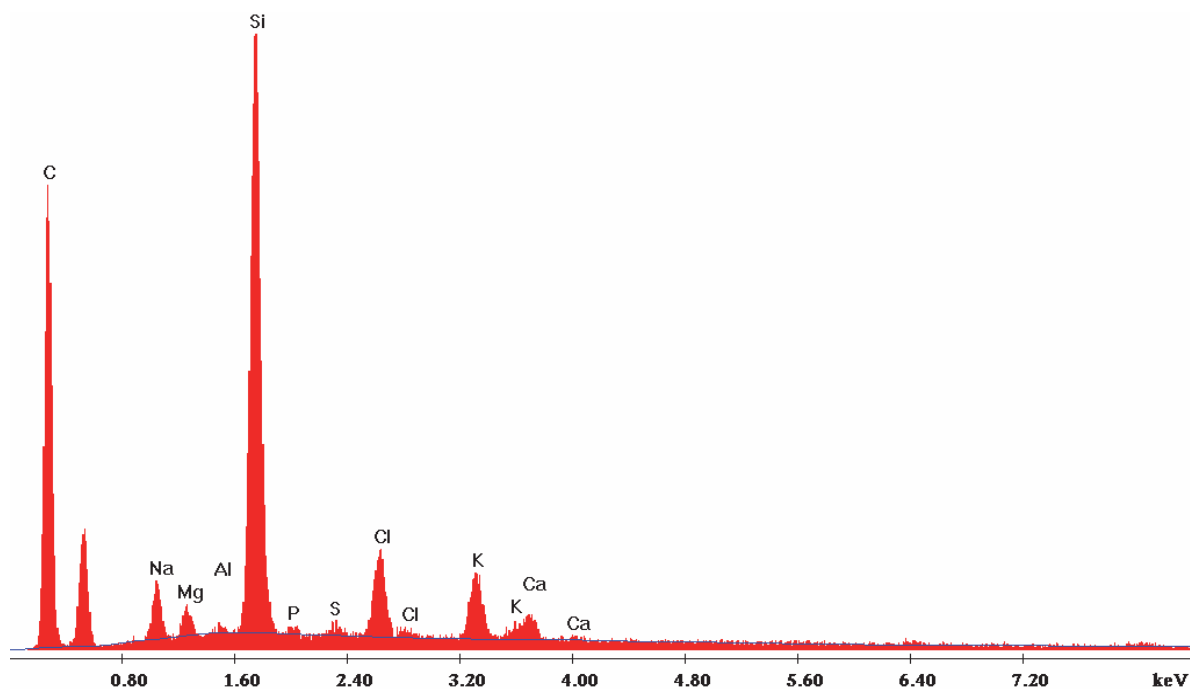


Рисунок 3б. Качественный EDX-спектр анализ поверхности биоугля из рисовой соломы.

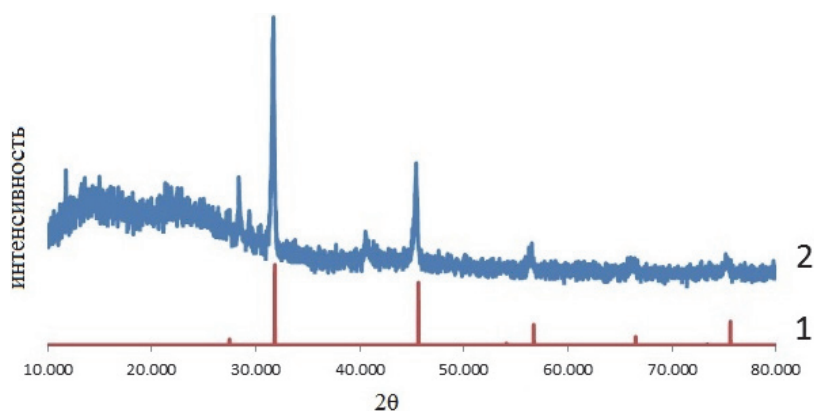


Рисунок 4. Рентгенограмма биоугля из рисовой соломы.

Изучение данных рисунка 5 показывает, что гидрофобные функциональные группы появляются на биоугле из рисовой соломы в спектральных областях $2\ 800\text{--}3\ 000\ \text{см}^{-1}$ и $1\ 300\text{--}1\ 600\ \text{см}^{-1}$ и тесно связаны с гидрофобными функциональными соединениями, такими как -C-H -отрезки алкильных групп [13].

Оценку прочностных характеристик сухой цементной смеси проводили на образцах-призмах с размерами $40\times 40\times 160\ \text{мм}$ по методикам ГОСТа 30744-2001. Отформованные образцы твердели в нормальных условиях в течение 28 суток. На образцах-призмах определяли пре-

дел прочности при сжатии и предел прочности при изгибе. Оценку адгезионной прочности сухой строительной смеси проводили по методикам ГОСТа 31356-2007 [9–12]. Данные лабораторных испытаний представлены в таблице 6.

Исследование возможности применения отходов производства риса, в частности рисовой соломы, является перспективным направлением, т. к. позволяет решить вопрос утилизации многотоннажных объемов отходов, а также повысить прочностные характеристики сухой строительной смеси.

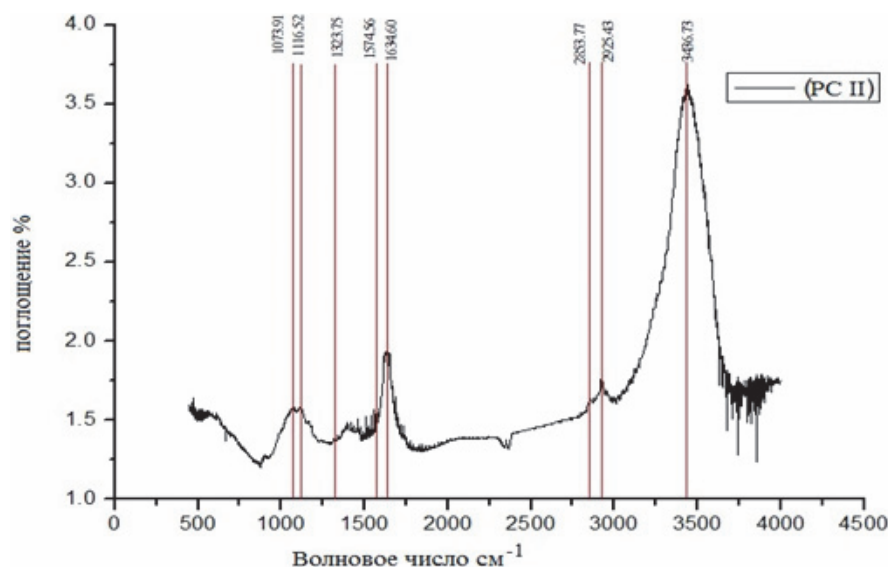


Рисунок 5. Инфракрасная спектроскопия на основе преобразования Фурье (FTIR) биоугля, полученного из рисовой соломы [14].

Таблица 6. Свойства композиционной сухой строительной смеси с добавкой биоугля из рисовой соломы

| Наименование показателя | Значение показателя состава, № | | |
|--|--------------------------------|-------|-------|
| | 1-К | 2-С | 3-С |
| 1. Средняя плотность, кг/м ³ | 2 305 | 2 334 | 2 345 |
| 2. Водопоглощение при капиллярном подсосе, % | 7,1 | 6,3 | 5,9 |
| 3. Предел прочности при сжатии образцов кубов, МПа (28 суток н.т.) | 52,3 | 57,9 | 61,3 |
| 4. Предел прочности на растяжение при изгибе образцов призм, МПа (28 суток н.т.) | 2,5 | 3,8 | 4,2 |
| 5. Адгезионная прочность, МПа | 0,52 | 1,48 | 2,07 |

Литература

1. Использование золошлаковых отходов в качестве дополнительного цементирующего материала [Электронный ресурс] / Т. В. Лам, Н. С. Хунг, Б. И. Булгаков [и др.] // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2018. № 8. С. 10–18. – Режим доступа : https://doi.org/10.12737/article_5b6d5-8455b5832.12667511.
2. Петроченков, Р. Г. Композиты на минеральных заполнителях [Текст] : учеб. пособие в 2 том. Т. 2. Проектирование составов строительных композитов / Р. Г. Петроченков. – М. : Стройиздат, 2005. – 349 с.
3. Адълходжаев, А. И. Использование рисовой соломы для увеличения прочностных характеристик

Reference

1. Lam, T. V.; Khung, N. S.; Bulgakov, B. I. [et. al.]. Use of ash and slag waste as an additional cementing material [Electronic resource]. In: *Bulletin of the BSTU named after V. G. Shukhov*, 2018. № 8. P. 10–18. Access mode : https://doi.org/10.12737/article_5b6d58455b5832.12667511. (in Russian)
2. Petrochenkov, R. G. Composites based on mineral aggregates [Text] : schoolbook in 2 vol. Vol. 2. Designing the compositions of building composites. M. : Stroizdat, 2005. 349 p. (in Russian)
3. Adylkhodzhayev, A. I.; Igamberdiyev, B. G.; Umarova, M. M. Using rice straw to increase the strength characteristics of gypsum binders [Electronic resource]. In: *Universum: Technical*

- тик гипсовых вяжущих веществ [Электронный ресурс] / А. И. Адылходжаев, Б. Г. Игамбердиев, М. М. Умарова // *Universum: Технические науки: электрон. научн. журн.* 2018. № 10(55). – Режим доступа : <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/6441>.
4. Effect of rice husk ash and fly ash on the compressive strength of high performance concrete [Электронный ресурс] / L. V. Tang, B. Bulgakov, O. Aleksandrova [et al.] // *E3S Web of Conferences* 33, 02030 (2018). – Режим доступа : <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302030>.
 5. Bui, D. D. Particle size effect on the strength of rice husk ash blended gapgraded Portland cement concrete [Текст] / D. D. Bui, J. Hu, P. Stroeven // *Cement and Concrete Composites*. 2005. Vol. 27. Issue 3. P. 357–366.
 6. Effect of Rice Husk Ash and Fly Ash on the Workability of Concrete Mixture in the High-Rise Construction [Электронный ресурс] / L. V. Tang, B. Bulgakov, S. Bazhenova [et al.] // *E3S Web of Conferences* 33, 02029 (2018). – Режим доступа : <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302029>.
 7. Влияние золы рисовой шелухи на свойства гидротехнических бетонов [Электронный ресурс] / Н. С. Хунг, Т. В. Лам, Б. И. Булгаков [и др.] // *Вестник МГСУ*. 2018. Т. 13. Вып. 6 (117). С. 768–777. – Режим доступа : <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2018.6.768-777>.
 8. Неорганические компоненты соломы и шелухи овса [Текст] / Л. А. Земнухова, В. В. Будаева, Г. А. Федорищева [и др.] // *Химия растительного сырья*. 2009. № 1. С. 147–152.
 9. Wanga, A. Fly ash effects II. The active effect of fly ash [Текст] / A. Wanga, C. Zhangb, W. Suna // *Cement and Concrete Research*. 2004. Vol. 34. P. 2057–2060.
 10. Hoàng, M. Đ. Nâng cao khả năng bảo vệ cốt thép của bê tông trong môi trường biển bằng phụ gia silicafume [Текст] / M. Đ. Hoàng, T. N. Nguyễn // *Hội nghị Khoa học Viện KHCN Xây dựng. Hà Nội*. 2013. P. 100–109.
 11. Ultra high performance concrete using a combination of Silicafume and Ground Granulated Blast-furnace Slag in Vietnam [Текст] / N. C. Thang, N. V. Tuan, L. T. Thanh [et al.] // *The International Conference on Sustainable Built Environment for Now and the Future (Hanoi, 26–27 March 2013, Hanoi)*. Hanoi. 2013. P. 303–309.
 12. Mohamed, A. Physical and Chemical Properties of Rice Straw Ash and Its Effect on the Cement Paste Produced from Different Cementes [Текст] / A. Mohamed, T. El-Sayed, M. El-Samni // *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*. 2006. Vol. 19. Issue 1. P. 21–29.
 13. Yun, C. H. Effects of pre-carbonization on porosity development of activated carbons from rice straw [Текст] / C. H. Yun, Y. H. Park, C. R. Park // *Carbon*. 2001. № 39(4). P. 559.
 14. Modeling of ammonium and cod adsorption in aqueous solutions using an artificial neural network (ANN) *sciences: electronic scientific journal*. 2018. № 10(55). Access mode : <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/6441>. (in Russian)
 4. Tang, L. V.; Bulgakov, B.; Aleksandrova, O. [et. al.]. Effect of rice husk ash and fly ash on the compressive strength of high performance concrete [Electronic resource]. In: *E3S Web of Conferences* 33, 02030 (2018). Access mode : <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302030>. (in English)
 5. Bui, D. D.; Hu, J.; Stroeven, P. Particle size effect on the strength of rice husk ash blended gapgraded Portland cement concrete [Text]. In: *Cement and Concrete Composites*. 2005. Vol. 27. Issue 3. P. 357–366. (in English)
 6. Tang, L. V.; Bulgakov, B.; Bazhenova, S. [et. al.]. Effect of Rice Husk Ash and Fly Ash on the Workability of Concrete Mixture in the High-Rise Construction [Electronic resource]. In: *E3S Web of Conferences* 33, 02029 (2018). Access mode : <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302029>. (in English)
 7. Khung, N. S.; Lam, T. V.; Bulgakov, B. I. [et. al.]. Influence of Rice Hull Ash on the Properties of Hydraulic Concrete [Electronic resource]. In: *Bulletin of the MGSU*. 2018. Vol. 13. Issue. 6 (117). P. 768–777. Access mode : <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2018.6.768-777>. (in Russian)
 8. Zemnukhova, L. A.; Budayeva, V. V.; Fedorishcheva, G. A. [et. al.]. Inorganic components of straw and oat husks [Text]. In: *Chemistry of plant raw materials*. 2009. № 1. P. 147–152. (in Russian)
 9. Wanga, A.; Zhangb, C.; Suna, W. Fly ash effects II. The active effect of fly ash [Text]. In: *Cement and Concrete Research*. 2004. Vol. 34. P. 2057–2060. (in English)
 10. Hoàng, M. Đ.; Nguyễn, T. N. Nâng cao khả năng bảo vệ cốt thép của bê tông trong môi trường biển bằng phụ gia silicafume [Text]. In: *Hội nghị Khoa học Viện KHCN Xây dựng*. 2013. P. 100–109. (in Vietnamese)
 11. Thang, N. C.; Tuan, N. V.; Thanh, L. T. [et. al.]. Ultra high performance concrete using a combination of Silicafume and Ground Granulated Blast-furnace Slag in Vietnam [Text]. In: *International Conference on Sustainable Built Environment for Now and the Future*. 2013. P. 303–309. (in English)
 12. Mohamed, A.; El-Sayed, T.; El-Samni, M. Physical and Chemical Properties of Rice Straw Ash and Its Effect on the Cement Paste Produced from Different Cementes [Text]. In: *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*. 2006. Vol. 19. Issue 1. P. 21–29. (in English)
 13. Yun, C. H.; Park, Y. H.; Park, C. R. Effects of pre-carbonization on porosity development of activated carbons from rice straw [Text]. In: *Carbon*. 2001. № 39(4). P. 559. (in English)
 14. Khalil, A. S.; Smolyanichenko, A. S.; Shchutskaya, E. E. [et. al.]. Modeling of ammonium and cod adsorption in aqueous solutions using an artificial neural network (ANN) [Electronic resource]. In: *Engineering and Earth Sciences: Applied and*

[Электронный ресурс] / A. S. Khalil, A. S. Smolyanichenko, E. E. Shchutskaya [et al.] // Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research : AER-Advances in Engineering Research Proceedings of the International Symposium dedicated to the 85-th anniversary of H. I. Ibragimov (ISEES 2019; 10–13 июня 2019, Грозный). Грозный, 2019. P. 212–218. – Режим доступа : <https://doi.org/10.2991/isees-19.2019.42>.

Fundamental Research : AER-Advances in Engineering Research Proceedings of the International Symposium dedicated to the 85-th anniversary of H. I. Ibragimov. 2019. P. 212–218. Access mode : <https://doi.org/10.2991/isees-19.2019.42>. (in English)

Халюшев Александр Каюмович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологического инжиниринга и экспертизы в стройиндустрии ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет». Научные интересы: применение отходов промышленности в строительных конструкциях.

Смоляниченко Алла Сергеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет». Научные интересы: применение отходов агропромышленного комплекса в строительных конструкциях.

Халюшев Олександр Каюмович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологічного інжинірингу і експертизи в будіндустрії ФДБОУ ВО «Донський державний технічний університет». Наукові інтереси: застосування відходів промисловості в будівельних конструкціях.

Смолянiченко Алла Сергiївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання та водовiдведення ФДБОУ ВО «Донський державний технічний університет». Наукові інтереси: застосування відходів агропромислового комплексу в будівельних конструкціях.

Khalyushev Aleksandr – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Technological engineering and expertise in the construction industry Department, Don State Technical University. Scientific interests: use of industrial waste in building structures.

Smolyanichenko Alla – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Water supply and sanitation Department, Don State Technical University. Scientific interests: the use of agro-industrial waste in building structures.