

DOI
УДК 662.998

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ РАЗЛОЖЕНИЯ ТОРФА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Л.М. Воропай, О.Б. Кузнецова, А.А. Синицын, Д.С. Родыгин,
С.А. Соловьев, И.Г. Ахметова

Реферат. Исследование проводили с целью изучения влияния степени гумификации торфа на механические и теплоизоляционные свойства композитных теплоизоляционных материалов. Пробы торфа отбирали из месторождения в Тотемском районе Вологодской области с глубин 0,5 и 2 м. Степень разложения верхового торфа (с глубины 0,5 м) составляла 14...16 %, низинного (с глубины 2 м) – 39 %. Определяли физико-химические характеристики исследуемых образцов торфа. Влажность верхового торфа составляла 41,8...42,1 %, низинного – 54,21...54,23 %; содержание органических веществ варьировало соответственно от 81,72 до 81,75 % и от 88,18 до 88,21 %; зольность – от 18,25 до 18,28 % и от 11,79 до 11,82 %. На основе проб торфа были созданы образцы теплоизоляционной смеси, содержащие 30...50 % верхового торфа и 25...45 % низинного торфа в качестве природного теплоизолятора и вяжущего материала; 5 % неразложившихся остатков растений, которые играли роль связующего вещества; 10 % торфяной вытяжки, содержащей смолистые и сахаристые фракции и 10 % кремний органического полимера (КОП) марки КС-12 для увеличения степени схватывания и прочностных характеристик. Увеличение в смеси доли верхового торфа (с низкой степенью разложения) привело к уменьшению средней плотности образца с 238 до 229 кг/м³, снижению коэффициента теплопроводности с 0,048 до 0,042 Вт/(м·°С), уменьшению прочности на сжатие с 1,47 МПа до 1,17 МПа и снижению температуры воспламенения с 748 до 690 °С.

Ключевые слова: торф, степень разложения, гумификация, эксплуатационные характеристики, теплоизоляционные материалы.

Введение. В последние несколько лет на объекты агропромышленного комплекса приходится треть выбросов парниковых газов, которые способствуют изменению климата. В этой отрасли большое количество энергии расходуется на отопление помещений в зимний период года и охлаждение – летом [1, 2]. К одному из методов снижения энергопотребления в объектах агропромышленного комплекса можно отнести тепловую изоляцию зданий и сооружений. В зависимости от климатических условий, добавление теплоизоляционных материалов (ТИМ) в ограждающие конструкции зданий снижает нагрузку на охлаждение на 18,8...30,4 % [3].

Все материалы, представленные на рынке конструкционной и строительной продукции, включая теплоизоляторы, классифицируются не только по технологическим и техническим характеристикам, но и по экологическим свойствам. Некоторые строительные материалы горючи, например, пенополиуретан или пенополистирол. Их разделяют на несколько групп: слабогорючие (Г1), умеренногорючие (Г2), нормальногорючие (Г3) и сильногорючие (Г4). При горении могут выделяться токсичные вещества, негативно влияющие на окружающую среду и здоровье человека. По токсичности продуктов горения строительные материалы подразделяют на малоопасные (Т1), умеренноопасные (Т2), высокоопасные (Т3) и чрезвычайно опасные (Т4). Материалы, которые не содержат в своем составе опасные для экологии и человека вещества, экологически безопасны. В противном случае материал считается неэкологичным, и сейчас наблюдается тенденция к сокращению применения

неэкологичных строительных и теплоизоляционных материалов (N123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 (ред. от 14.07.2022)) [4].

Класс экологической опасности любого материала зависит от выбора исходного сырья и технологии его производства. С целью сокращения материальных затрат вместо натуральных природных материалов, которые экологически безопасны, при изготовлении теплоизоляторов используют разные виды производственных отходов, включая шлаковую и цементную пыль, отходы керамики, побочные продукты получения минеральных удобрений, а также полимерные материалы [5].

В последние годы в качестве вяжущих компонентов в композиционные смеси вводят политерафтолаты, эпоксидные смолы, кремнийорганические полимеры, производные полиэтилена, полипропиленов, галогенсодержащие полимеры, полиэфирные смолы, гомо и сополимеры акрилатов, аминопласты [6]. Согласно санитарно-химическим показателям этих полимеров все высокомолекулярные соединения, за исключением кремнийорганических полимеров и полиэтилентерафталатов, при разложении выделяют в окружающую среду вещества, относящиеся к первому, второму и третьему классам опасности [7].

Однако исключить полностью из композиционной смеси полимерные материалы, выполняющие функции вяжущих и обволакивающих компонентов, невозможно. Одним из приоритетных направлений технологии производства экологически безопасных ТИМ можно

считать сокращение расходов экологически опасных полимеров или замену их на силиконовые (кремнийорганические полимеры), которые обеспечивают повышение механической прочности при развитой пористой поверхности и уменьшение коэффициентов теплопроводности, водопоглощения, поверхностного увлажнения, капиллярного подсоса, водопроницаемости, паропроницаемости [8, 9]. При этом наблюдается увеличение биостойкости, атмосферостойкости, морозостойкости [10].

В соответствии с показателем огнестойкости, кремнийорганические полимеры (КОП) относят к трудногоряемым веществам, которые имеют высокие температуры воспламенения. Однако при температурах выше 2100 °С они разлагаются с выделением в окружающую среду примесей стирола и его производных, пероксидов бензоила и изопропилбензола, которые относят ко второму классу токсичности [11, 12]. Для обеспечения экологической безопасности ТИМ на основе КОП рекомендуют сокращать количество вводимых полимерных материалов путем замены их на природные вяжущие материалы, к которым относится разложившийся торф.

При производстве ТИМ с применением кремнийорганических полимеров в качестве вяжущих и природных теплоизоляторов используют низинный торф, в том числе из торфяников Грязовецкого и Вологодского районов Вологодской области [13]. Степень гумификации верховой торф составляет 14...16 % (слаборазложившийся); низинного – 39 % (сильноразложившийся). Использование низинного торфа позволяет увеличить механическую прочность торфяных теплоизоляторов, а также скорость схватывания композиционной смеси. При этом уменьшается пористость теплоизоляторов и увеличивается коэффициент теплопроводности, что можно считать существенным недостатком. Увеличение доли верхового торфа в композиционной смеси вызывает уменьшение коэффициента теплопроводности, при этом снижается механическая прочность материалов.

Цель исследования – изучить влияние степени гумификации торфа на эксплуатационные характеристики ТИМ для производства композитов с большим содержанием торфа и меньшим содержанием кремнийорганических полимеров.

Для достижения поставленной цели решали следующие задачи – определить возможность использования торфа с разными степенями гумификации; исследовать влияние степени гумификации образцов торфа, взятых с разной глубины из одного месторождения (торфяники Тотемского района Вологодской области), на плотность, удельную теплопроводность, прочность на сжатие и температуру возгорания теплоизоляционной смеси.

Условия, материалы и методы. В качестве объектов исследования использовали

образцы торфа, отобранные 25 июля 2020 г. из месторождения Тотемского района Вологодской области, на глубинах залегания 0,5 м и 2 м, которые соответствуют разным горизонтам торфяников с определенной степенью гумусообразования и разной влажностью.

Для получения ультразвуковой торфяной вытяжки образцы торфа при сохранении гидромодуля 1:3 (одна массовая часть торфа и три массовые части воды) обрабатывали в низкочастотном ультразвуковом реакторе контактного типа при числе кавитации 800...900 и температуре от 65 до 85 °С в течении 30 минут.

Коэффициент теплопроводности определяли по ГОСТ 7076-99, предел прочности при сжатии – по ГОСТ 17177-94. При определении плотности образцов применяли гравиметрический метод и метод объемного анализа: среднюю плотность рассчитывали по отношению массы образцов, высушенных до постоянной величины к объему вытесненной воды. Токсикологическую оценку исследуемых образцов осуществляли методом биотестирования с использованием прибора «Биотестер 2М» [14]. Степень водопоглощения определяли гравиметрическим методом, температуру воспламенения – на аппарате для определения температуры вспышки в закрытом тигле «ТВЗ-ПХП», содержание сахаристых фракций – по ГОСТ 19222-84, общую жесткость водной вытяжки – титриметрическим методом в соответствии с РД 52.24.395-2007, зольность образцов торфа – по ГОСТ 11306-2013, влажность образцов торфа – по ГОСТ 11305-2013, содержание ионов водной вытяжки – по ГОСТ 26426-85, рН водной вытяжки – по ГОСТ 26423-85. Повторяемость каждого опыта – не менее трех раз.

Исследования выполняли в три этапа: определение физико-химических характеристик образцов торфа; приготовление торфяной смеси и изготовление образцов ТИМ по авторской методике; тестирование полученных образцов.

Для определения влияния степени разложения торфа на эксплуатационные характеристики ТИМ готовили сырьевую смесь (табл. 1). После фракционирования торфа влажную торфяную смесь тщательно перемешивали, вносили измельченные, неразложившиеся растительные остатки, выделенные из образцов торфа и ультразвуковую вытяжку. Смесь снова тщательно перемешивали и после набухания торфяных фракций и остатков растений добавляли кремнийорганический растворитель (10 % от общей массы смеси), который относится к группе гидрофильных полимеров и растворяется в воде. С целью более равномерной пропитки компонентов смеси водным экстрактом ее стабилизировали на воздухе в течении 45 минут. Далее смесь формовали и после прессования подвергали термической обработке при температуре 110 °С в течении 2 ч для испарения несвязанной воды.

После предварительной сушки, постепенно доводили температуру муфельной печи до 180 °С с целью устранения коробления образцов и выдерживали при этой температуре 1,5 ч. В составе торфяной смеси

варьировали только массовые доли торфа, взятого с разных глубин (с шагом 5 %): верхового торфа (с глубины 0,5 м) – увеличивали с 30 до 50 %, низинного торфа (с глубины 2 м) – уменьшали с 45 до 25 %.

Таблица 1 – Состав торфяной смеси

№ образца	Массовая доля, %				
	торфа с глубины 0,5 м	торфа с глубины 2,0 м	не разложившихся остатков растений	торфяной вытяжки	КОП
1	30	45	5	10	10
2	35	40	5	10	10
3	40	35	5	10	10
4	45	30	5	10	10
5	50	25	5	10	10

Результаты и обсуждение. С увеличением глубины залегания с 0,5 м до 2,0 м в образцах торфа увеличивалось количество органических веществ и влажность при одновременном снижении зольности и рН водной вытяжки. Зольность торфа уменьшалась с 18,25 до 11,80 % с одновременным увеличением содержания органических веществ

с 81,70 до 88,20 %. Также наблюдалось подкисление водной вытяжки до рН 5,8...5,9, что доказывает большую степень гумификации глибинных образцов торфа.

Вероятно, это объясняется тем, что в составе образцов торфа, взятых с глубины 0,5 м, могут присутствовать неразложившиеся частицы почвы (табл. 2).

Таблица 2 – Характеристики образцов торфа

№ образца	Глубина отбора, м	Влажность, %	Содержание органических веществ, %	Зольность, %	рН водной вытяжки
1	0,5	42,1	81,72	18,28	6,2
2	0,5	41,8	81,75	18,25	6,3
3	0,5	41,8	81,74	18,26	6,2
4	0,5	41,9	81,75	18,25	6,3
5	0,5	41,8	81,75	18,25	6,3
6	2	54,22	88,18	11,82	5,9
7	2	54,21	88,21	11,79	5,8
8	2	54,22	88,19	11,81	5,9
9	2	54,23	88,19	11,81	5,8
10	2	54,22	88,20	11,80	5,8

Результаты химического анализа ультразвуковых торфяных вытяжек свидетельствовали о большем содержании неорганических компонентов в вытяжках образцов торфа, взятых с глубины 0,5 м (табл. 3).

Вследствие кавитационных эффектов обеспечивалась большая степень эффективности

экстрагирования сахаристых и смолистых фракций, которые вызывали обволакивание и капсулирование частиц торфа, неразложившихся остатков растений.

Этот эффект вызвал увеличение механической прочности образцов после их термической обработки.

Таблица 3 – Химический состав ультразвуковой вытяжки торфяных образцов

№ пробы	Глубина залегания, м	Общая жесткость, Мг-экв/л	Содержание, мГ/кГ					Содержание сахаристых фракций, %
			СГ	НСО ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	
1	0,5	0,896	129,14	3597,2	72,14	27,92	7,29	1,52
2	2,0	0,367	59,8	1628,7	3,59	24,18	28,5	4,32

При увеличении глубины залегания торфа также увеличилось содержание восстановленных форм азота и сахаристых гидролизуемых фракций. Наблюдалось уменьшение концентрации хлорид-, нитрат-, нитрит-, гидрокарбонат-ионов в водной вытяжке, а ее жесткость снизилась более чем в два раза. Полученные результаты подтвердили зависимость химического состава торфа и степени его гумификации от глубины его залегания. Процессы гумификации способствовали увеличению

содержания гидролизуемых соединений гуминовых и фульвокислот, а также полисахаридов, выполняющих обволакивающую и связывающую функции при получении теплоизоляционных материалов.

В композиционной смеси, торф, взятый с глубины 2 м, а также водная вытяжка и кремнийорганический полимер выполняли функцию связывающих материалов. Заполнителями в этой смеси выступали образцы торфа из верхних горизонтов месторождения и

измельченные неразложившиеся остатки растений. С увеличением доли торфа с низким уровнем гумификации в составе композиционной смеси наблюдали уменьшение средней удельной плотности на 9 кг/м^3 (рис. 1). Это свидетельствует о формировании более

пористой поверхности у образцов ТИМ, содержащих фракции торфа с низкой степенью гумификации. Одновременно происходило снижение коэффициента теплопроводности на $0,06 \text{ Вт/м}\cdot^{\circ}\text{C}$ (рис. 2), что согласуется с литературным данным [15, 16].

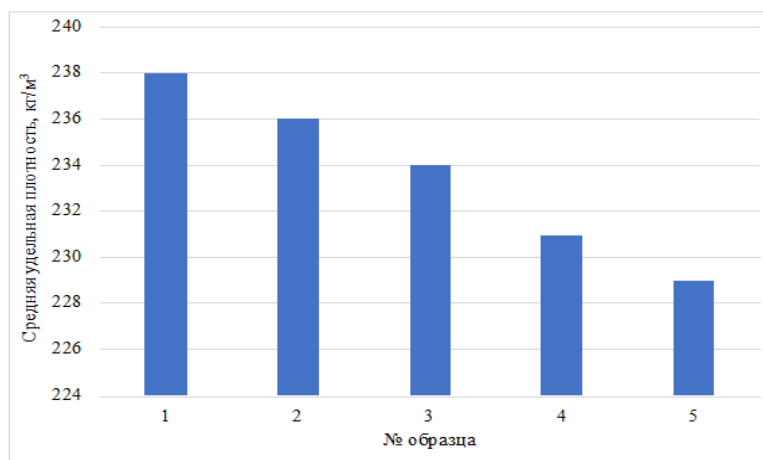


Рис. 1 – Зависимость изменения средней плотности ТИМ от химического состава теплоизоляционной смеси

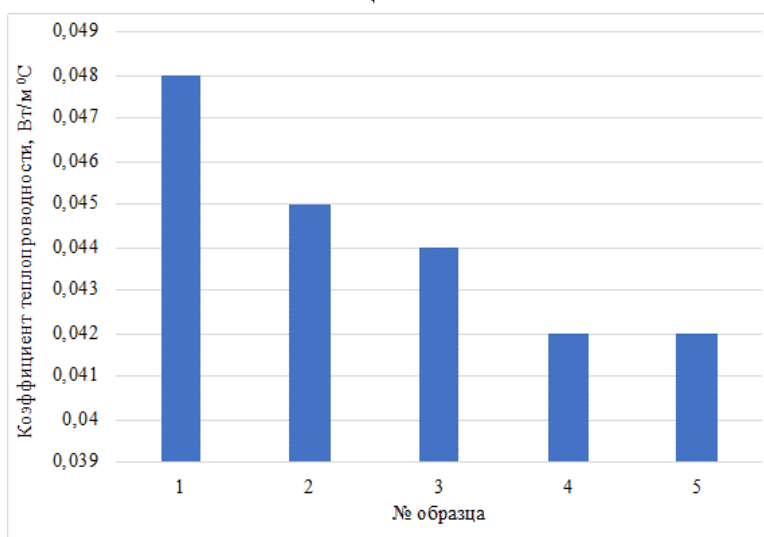


Рис. 2 – Зависимость коэффициента теплопроводности от химического состава теплоизоляционной смеси

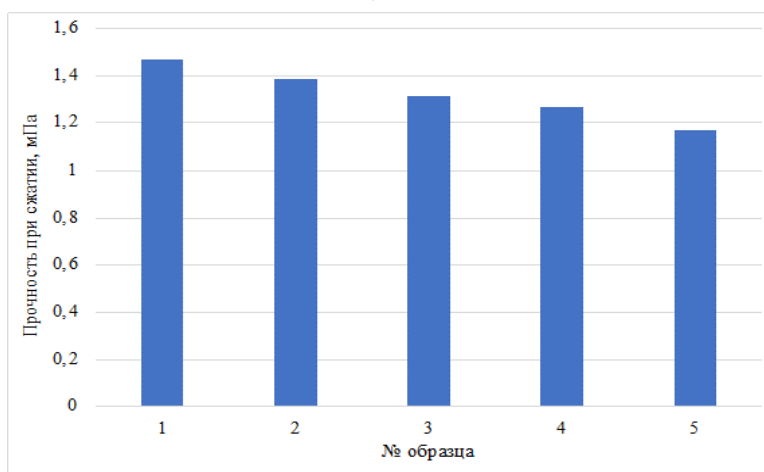


Рис. 3 – Зависимость изменения прочности при сжатии от химического состава теплоизоляционной смеси

Кроме того, при увеличении содержания в смеси торфа с низкой степенью гумификации наблюдалось уменьшение прочности при сжатии на 0,3 мПа (с 1,47 мПа до 1,17 мПа), что не соответствует

требованиям ГОСТ (рис. 3).

Одновременно происходило снижение температуры воспламенения на 58 °С (рис. 4), а также незначительное увеличение влагопоглощения – на 2 %.

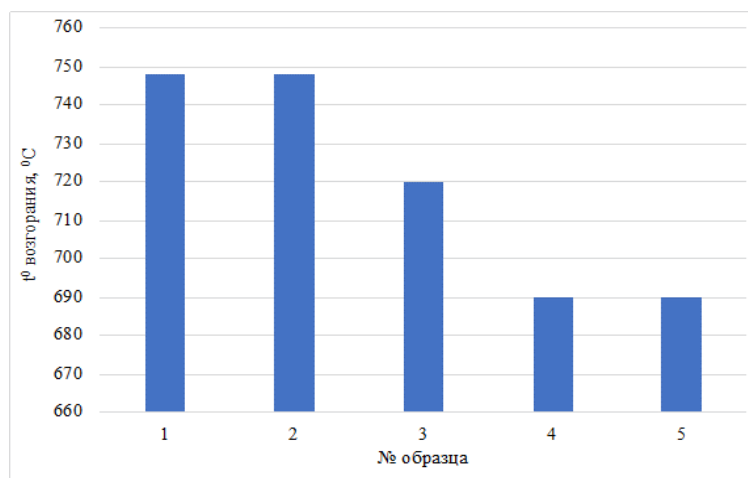


Рис. 4 – Зависимость изменения температуры возгорания от состава теплоизоляционной смеси

Выводы. Эксплуатационные характеристики торфяных теплоизоляционных композитов зависят от степени гумификации торфа, содержащегося в композиционной смеси.

С ее увеличением наблюдалось уменьшение пористости композита, увеличение его механической прочности и коэффициента теплопроводности. Торф с высокой степенью гумификации выполняет функцию

вяжущего материала в композите.

Сведения об источнике финансирования. Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания №075-01262-22-01 от 28 января 2022 г. (Дополнительное соглашение 075-03-2022-151/1 с 31 января 2022 года).

Литература

1. Energy efficiency, energy conservation and determinants in the agricultural sector in emerging economies / J. Liu, H. Wang, S. Rahman, et al. // *Agriculture*. 2021. Vol. 11. No. 8. P. 773. doi:10.3390/agriculture11080773.
2. Carbon emissions, energy consumption and economic growth: Evidence from the agricultural sector of China's main grain-producing areas / L. Zhang, J. Pang, X. Chen, et al. // *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 665. P. 1017–1025. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.162.
3. Engler N., Krarti M. Review of energy efficiency in controlled environment agriculture // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021. Vol. 141. P. 110786. doi:10.1016/j.rser.2021.110786.
4. Киреева О. А., Котова Д. О., Мальчик А. Г. Рациональный выбор строительных материалов с точки зрения экологической безопасности // *Вестник российских университетов. Математика*. 2014. Т. 19. № 5. С. 1431-1433.
5. Усов Б. А., Окольникова Г. Э., Акимов С. Ю. Экология и производство строительных материалов // *Системные технологии*. 2015. № 17. С. 84–105.
6. Князева В. П. Экологическая оценка материалов // *Отраслевые ведомости, информационный бюллетень Строительство: технологии, материалы, оборудование*. 2003. № 8. С. 2–5.
7. Воробьев В. А., Андрианов Р. А., Ушков В. А. Горючесть полимерных строительных материалов. М.: Стройиздат, 1978. 224 с.
8. Traditional, state-of-the-art and renewable thermal building insulation materials: An overview / B. Abu-Jdayil, A. H. Mourad, W. Hittini, et al. // *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 214. P. 709–735. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.04.102.
9. Insulating materials for realising carbon neutrality: Opportunities, remaining issues and challenges / C. Li, Y. Yang, G. Xu, et al. // *High Voltage*. 2022. Vol. 7. No. 4. P. 610–632. doi: 10.1049/hve2.12232.
10. Перспективы использования кремнийорганических полимеров при создании современных материалов и покрытий различных назначений / И. Д. Краев, О. В. Попков, Е. М. Шульдешов и др. // *Труды ВИАМ*. 2017. № 12 (60). С. 46–60.
11. Technology for Producing Peat Heat-Insulating Boards Using Organosilicon Polymers / L. Voropai, A. Sinitsyn, G. Tikhonovskaya, et al. // *E3S Web of Conferences*. – EDP Sciences. 2020. Vol. 161. P. 01037. doi: 10.1051/e3sconf/202016101037.
12. The Influence of the Relative Content of Peat and Mineral Binder on Thermal Insulation Composite Performance Characteristics / L. Voropai, O. Kuznetsova, A. Sinitsyn, et al. // *International Journal of Technology*. 2020. Vol. 11. No. 8. P. 1618–1627. doi: 10.14716/ijtech.v11i8.4542.
13. Relationship between operational properties of peat heat-insulating materials and the content of mineral binders in them / A. Sinitsyn, L. Voropay, R. Salikhova, et al. // *E3S Web of Conferences*. EDP Sciences. 2020. Vol. 178. P. 01047. doi: 10.1051/e3sconf/202017801047.

14. Вишневецкий В. Ю., Булавкова Н. Г., Ледеява В. С. Принципы построения биотестовой системы // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2011. Т. 122. № 9. С. 12–17.

15. Тараканов А. Ю., Медведев О. А. Торфополимерная смесь для изготовления теплоизоляционных изделий // Патент РФ № 2555180, 10.07.2015.

16. Кудяков А. И., Аниканова Л. А., Пименова Л. Н. и др. Теплоизоляционный композиционный материал // Патент РФ № 2409529, 20.01.2011.

Сведения об авторах:

Воропай Людмила Михайловна – кандидат химических наук, доцент кафедры биологии и химии, e-mail: kafbio@vogu35.ru

Кузнецова Ольга Борисовна – кандидат химических наук, доцент кафедры биологии и химии, e-mail: kafbio@vogu35.ru

Синицын Антон Александрович – кандидат химических наук, заведующий кафедрой теплогазоводоснабжения, e-mail: sinitsyn.science@mail.ru

Родыгин Дмитрий Сергеевич – инженер-лаборант кафедры биологии и химии, e-mail: kafbio@vogu35.ru
Вологодский государственный университет, Вологда, Россия

Соловьев Сергей Анатольевич – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры инженерная кибернетика, e-mail: solovev.sa@kgeu.ru

Ахметова Ирина Гареевна – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Экономика и организация производства, e-mail: irina_akhmetova@mail.ru

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE DEGREE OF COMPOSITION OF PEAT ON THE CHARACTERISTICS OF COMPOSITE THERMAL INSULATION MATERIALS

**L. M. Voropay, O.B. Kuznetsova, A.A. Sinitsin, D.S. Rodygin,
S.A. Solovev, I.G. Akhmetova**

Abstract. The paper presents the results of studies of the influence of the degree of humification of peat on the mechanical and thermal insulation properties of composite thermal insulation materials. Peat samples were taken from a deposit in Totemsky district of the Vologda region from depths of 0.5 and 2 m. Highland peat (from a depth of 0.5 m) has a low degree of decomposition - 14...16 %, lowland peat (from a depth of 2 m) has a degree of decomposition of 39 %. The physicochemical analysis of the studied peat samples was carried out. The chemical composition of the water extract and the characteristics of peat are determined by gravimetric, titrimetric, ionometric, photoelectrocolorimetric methods of analysis. The results of the analysis showed that, depending on the depth, peat has the following characteristics: the moisture content of highland peat is 41.8...42.1 %, lowland peat - 54.21...54.23 %; the content of organic substances in the highland peat is 81.72...81.75%, in the lowland peat - 88.18...88.21%; the ash content of highland peat is 18.25...18.28%, lowland peat - 11.79...11.82%. Based on peat samples, heat-insulating mixture samples were created containing: 30...50% highland peat, 25...45% lowland peat, acting as a natural heat insulator and binder; 5% undecomposed plant residues acting as a binder; 10% peat extract containing resinous and sugary fractions and 10% organosilicon polymer (OSP) brand KS-12 to increase the strength characteristics. After cooling the finished composite heat-insulating mixtures, their characteristics were studied, namely: average density (Fig. a), thermal conductivity coefficient (Fig. b), compressive strength (Fig. c) and ignition temperature (Fig. d). The research results showed that an increase in the proportion of highland peat (with a low degree of decomposition) in the mixture leads to a decrease in the average density from 238 to 229 kg/m³, a decrease in the thermal conductivity coefficient from 0.048 to 0.042 W/mK, a decrease in the compressive strength from 1.47 mPa to 1.17 mPa and a decrease in the ignition temperature from 748 to 690 °C.

Key words: peat, degree of decomposition, humification, performance characteristics, thermal insulation materials.

References

1. Liu J, Wang H, Rahman S. Energy efficiency, energy conservation and determinants in the agricultural sector in emerging economies. *Agriculture*. 2021; Vol.11. 8. 773 p. doi:10.3390/agriculture11080773.
2. Zhang L, Pang J, Chen X. Carbon emissions, energy consumption and economic growth: Evidence from the agricultural sector of China's main grain-producing areas. *Science of the total environment*. 2019; Vol.665. 1017-1025 p. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.162.
3. Engler N, Krarti M. Review of energy efficiency in controlled environment agriculture. *Renewable and sustainable energy reviews*. 2021; Vol.141. 110786 p. doi:10.1016/j.rser.2021.110786.
4. Kireeva OA, Kotova DO, Mal'chik AG. [Rational choice of building materials from the point of view of environmental safety]. *Vestnik rossiiskikh universitetov. Matematika*. 2014; Vol.19. 5. 1431-1433 p.
5. Usov BA, Okol'nikova GE, Akimov SYu. [Ecology and production of building materials]. *Sistemnye tekhnologii*. 2015; 17. 84-105 p.
6. Knyazeva VP. [Ecological assessment of materials]. *Otraslevye vedomosti, informatsionnyi byulleten' Stroitel'stvo: tekhnologii, materialy, oborudovanie*. 2003; 8. 2-5 p.
7. Vorob'ev VA, Andrianov RA, Ushkov VA. Goryuchest' polimernykh stroitel'nykh materialov. [Flammability of polymer building materials]. Moscow: Stroizdat. 1978; 224 p.
8. Abu-Jdayil B, Mourad AH, Hittini W. Traditional, state-of-the-art and renewable thermal building insulation materials: an overview. *Construction and building materials*. 2019; Vol.214. 709-735 p. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.04.102.
9. Li C, Yang Y, Xu G. Insulating materials for realising carbon neutrality: Opportunities, remaining issues and challenges. *High Voltage*. 2022; Vol.7. 4. 610-632 p. doi: 10.1049/hve2.12232.
10. Kraev ID, Popkov OV, Shul'deshov EM. [Prospects for the use of organosilicon polymers in the creation of modern materials and coatings for various purposes]. *Trudy VIAM*. 2017; 12 (60). 46-60 p.
11. Voropai L, Sinitsyn A, Tikhanovskaya G. Technology for producing peat heat-insulating boards using organosilicon polymers. *E3S Web of Conferences*. – EDP Sciences. 2020; Vol. 161. 01037 p. doi: 10.1051/e3sconf/202016101037.
12. Voropai L, Kuznetsova O, Sinitsyn A. The influence of the relative content of peat and mineral binder on thermal insulation composite performance characteristics. *International Journal of Technology*. 2020; Vol.11. 8. 1618-1627 p. doi: 10.14716/ijtech.v11i8.4542.
13. Sinitsyn A, Voropay L, Salikhova R. Relationship between operational properties of peat heat-insulating materials and the content of mineral binders in them. *E3S Web of conferences. EDP sciences*. 2020; Vol.178. 01047 p. doi: 10.1051/

e3sconf/202017801047.

14. Vishnevetskii VYu, Bulavkova NG, Ledyeva VS. [Principles of building a biotest system]. Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2011; Vol.122. 9. 12-17 p.

15. Tarakanov AYu, Medvedev OA. [Peat-polymer mixture for the manufacture of heat-insulating products]. Patent RF № 2555180, 10.07.2015.

16. Kudyakov AI, Anikanova LA, Pimenova LN. [Heat-insulating composite material]. Patent RF № 2409529, 20.01.2011.

Authors:

Voropai Lyudmila Mikhailovna – Ph.D. of Chemical sciences, associate professor of Biology and Chemistry Department, e-mail: kafbio@vogu35.ru

Kuznetsova Olga Borisovna – Ph.D. of Chemical sciences, associate professor of Biology and Chemistry Department, e-mail: kafbio@vogu35.ru

Sinitsyn Anton Aleksandrovich – Ph.D. of Chemical sciences, Head of Heat and Gas Supply Department, e-mail: sinitsyn.science@mail.ru

Rodygin Dmitriy Sergeevich – laboratory engineer of Biology and Chemistry Department, e-mail: kafbio@vogu35.ru; Vologda State University, Vologda, Russia

Solovev Sergey Anatolyevich – Ph.D. of Physical and Mathematical sciences, associate professor of Engineering Cybernetics Department, e-mail: solovev.sa@kgeu.ru

Akhmetova Irina Gareevna - Doctor of Technical sciences, associate professor, Head of the Department of Economics and Organization of Production, e-mail: irina_akhmetova@mail.ru
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.