

## Технология производства теплоизоляционных плит на основе модифицированных стеблей борщевика сосновского

*М. Содомон*

*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет Москва, Россия*

**Аннотация:** Разработана технологическая схема производства биостойких материалов на основе модифицированных моноэтанолами(N→В)-тригидроксидом (МЭАТГБ) стеблей борщевика Сосновского и полиуретанового связующего. Эта технологическая схема отличается от традиционной, тем, что включает в себя процесс модификации растительного сырья для обеспечения его биостойкости. В работе представлены результаты определения теплофизических свойств полученных теплоизоляционных плит, а также результаты оценки их биостойкости. Полученные результаты соответствуют действующим требованиям к теплоизоляционным материалам. В работе проанализированы основные этапы и процессы, необходимые для создания качественного и экологически чистого продукта. Рассмотрены основные виды растительного сырья, используемые в производстве теплоизоляционных материалов, а также рассмотрены особенности технологических процессов, связанных с его переработкой и формированием. Помимо этого, представлены преимущества использования растительных материалов в производстве теплоизоляционных материалов с точки зрения экологии.

**Ключевые слова:** технологическая схема, биостойкие композиты, борщевик Сосновского, модификация, биостойкость, моноэтанолами(N→В)-тригидроксидом, теплоизоляционный материал.

### Введение

Сегодня очень важно отметить, что внедрение принципа экологичности в проектирование зданий стимулирует все больше исследований в области разработки тепло- и звукоизоляционных материалов для зданий с использованием натуральных или переработанных материалов и максимальным снижением энергопотребления в процессе производства [1,2].

В современном мире повышенное внимание уделяется экологически чистым и устойчивым методам производства и использования материалов. В этом контексте материалы на основе растительного сырья приобретают все большую популярность благодаря своей экологической безопасности и возобновляемому характеру. Одним из ключевых направлений применения таких материалов является производство теплоизоляционных материалов,

которые играют важную роль в сохранении энергии и снижении негативного воздействия на окружающую среду [3-5].

Технологическая схема производства теплоизоляционного материала на основе растительного сырья представляет собой сложный процесс, включающий в себя несколько этапов, начиная от подготовки сырья и заканчивая формированием готового продукта. Однако, благодаря новым технологиям и инновациям, этот процесс становится все более эффективным, экологически чистым и экономически целесообразным.

В производстве теплоизоляционных материалов на основе растительного сырья используются различные виды растений и растительных волокон, которые обладают хорошими теплоизоляционными свойствами и пригодны для промышленной переработки. Солома является одним из самых распространенных видов растительного сырья, используемого в производстве теплоизоляционных материалов. Она обладает низкой теплопроводностью и хорошо удерживает тепло. Солома обычно используется в виде прессованных плит или блоков [6,7]. Кроме соломы используются льняные волокна. Лен является источником прочных и гибких волокон, которые могут быть задействованы для производства теплоизоляционных материалов. Льняные волокна обладают хорошими теплоизоляционными свойствами и пригодны для создания различных форм и конфигураций [8,9]. Также используются кокосовые волокна для производства теплоизоляционного материала. Важно отметить, что кокосовые волокна получают из кокосовой скорлупы. Они обладают отличными теплоизоляционными свойствами и могут быть использованы для создания теплоизоляционных плит и матов [10]. Конопляные волокна - прочные и легкие материалы с хорошими теплоизоляционными свойствами. Они могут использоваться как основа для производства различных теплоизоляционных материалов [11]. Целлюлозные волокна могут быть

---

получены из различных источников, таких, как древесина, бамбук и др. Они обладают хорошей теплоизоляционной способностью и могут быть использованы в производстве различных видов изоляционных материалов [12].

Это лишь некоторые из основных видов растительного сырья, используемого в производстве теплоизоляционных материалов. Каждый вид сырья имеет свои уникальные характеристики и может быть адаптирован для создания широкого спектра изоляционных продуктов.

### **Материалы и методы**

В контексте нашего исследования основное внимание уделено технологической схеме производства теплоизоляционных материалов на основе модифицированных стеблей борщевика Сосновского (БС) с полиуретановым связующим.

Технологический процесс производства биостойких композиционных плит формируется из определенных последовательных технологических операций, суммарное количество которых может быть довольно большим, иметь различия как по количеству и составу операций, так и по последовательности их выполнения, зависящих от вида сырья, размеров и типов изготавливаемых плит, механического оснащения, транспортных путей доставки сырья и отправки готовых плит к потребителям. Из общего количества технологических операций целесообразно выделить основные, определяющие принципиальные условия изготовления плит и очередность следования таких операций друг за другом.

Особенностью, отличающей стандартное изготовление композиционных плит от изготовления биостойких композиционных плит, является введение антисептика в структуру плиты. В связи с этим необходимо модернизировать технологию путем внедрения дополнительных стадий при изготовлении биостойких композиционных плит.

---

Технологический процесс включает следующие основные операции:

- 1) подготовка исходного сырья - стеблей БС;
- 2) подача в производство и разделка стеблей БС;
- 3) измельчение стеблей БС и сортирование измельчённых стеблей;
- 4) сушка измельчённых стеблей БС;
- 5) транспортирование и хранение модификатора (антисептика);
- 6) модификация измельчённых стеблей БС методом погружения;
- 7) сушка модифицированных измельчённых стеблей БС;
- 9) приготовление связующего;
- 10) дозирование и смешивание измельчённых и модифицированных стеблей БС со связующим;
- 11) формирование биостойких композиционных плит;
- 12) прессование биостойких композиционных плит;
- 13) охлаждение, обрезка биостойких композиционных плит;
- 14) шлифование и сортирование;
- 15) укладка и хранение плит.

Каждая операция выполняется в конкретной технологической очередности и сопровождается образованием отходов и получением полуфабрикатов. Далее представлено детальное описание всех технологических операций.

### **Результаты и обсуждения**

Прием и подготовка стеблей Борщевика Сосновского

Доставку стебли БС на производство осуществляют с помощью автотранспорта (1). Далее экскаватором (2) ее доставляют на склад закрытого типа (3). Для улучшения качества плит проводят гидротермальную обработку в ваннах (4) для оттаивания льда в зимний период, а летом - для увлажнения пересохшего сырья и промывки загрязнения.

Очищенные стебли БС по ленточному конвейеру (5) подаются на рубительную установку (6) для получения измельченных стеблей БС размером 5x5x5 мм.

Измельченные стебли БС по ленточному конвейеру (7) проходят сортировку (8), не прошедшие частицы повторно отправляются на измельчение на рубительной установке (6). Прошедшие сортировку измельченные стебли БС по скребковому конвейеру (11) поступают в бункер (12). Измельченные стебли БС по скребковому конвейеру (11) подаются в вертикальный бункер хранения (14) вместимостью 60м<sup>3</sup>, дозирование из которого осуществляется винтовым конвейером, установленным в нижней части вертикального бункера.

Сушка измельченных стеблей борщевика Сосновского осуществляется в сушильных барабанах (15) при температуре, не превышающей 200°С, до достижения влажности в пределах 3-6%. Высушенные частицы проходят через циклон (16) для уплотнения и поступают в бункер (14). Перед процедурой антисептирования измельченные стебли борщевика подвергаются сортировке на установке (17). Те частицы, которые не прошли сортировку, подвергаются повторному измельчению в измельчителе (6) и снова направляются на процесс сортировки (17).

Для антисептирования используется 30%-ный водный раствор МЭАТГБ, который поступает на склад (18) железнодорожным транспортом в цистерне (19). Затем раствор перекачивается насосом (20) для хранения на складе (18) и, перед использованием, направляется также насосом (20) в расходную емкость (21). Нанесение антисептика на поверхность измельченных стеблей БС осуществляется путем вымачивания в растворе модификатора в ванне (22) в течение 30 минут. После модифицирования необходимо провести повторную сушку модифицированных стеблей БС до влажности 4-6%. Процесс сушки модифицированных измельченных стеблей растительного

---

сырья выполняется в барабанной сушилке (23). Температура сушильного агента на входе в барабан достигает  $300^{\circ}\text{C}$ , а на выходе колеблется от  $90$  до  $120^{\circ}\text{C}$ . Барабан имеет диаметр  $2,2$  м и длину  $10$  м, установленный с наклоном в  $2\text{—}3^{\circ}$  в сторону входа сырых измельченных стеблей борщевика Сосновского. Высушенные частицы проходят уплотнение в циклоне (24) и затем поступают в смеситель (25). Туда же с помощью насоса (20) через вертикальный бункер (28) подается ПУ связующее из цистерны (19).

### **Формование биостойкого композита**

Биостойкий композит формируется на движущемся конвейере (26), на который выгружают через формующее устройство (27) модифицированные измельченные стебли БС, смешанные с ПУ связующим. Биостойкий композит представляет собой плиту определенной ширины и толщины, которая подразделяется на пакеты. При последующем прессовании эти пакеты образуют плиты. Очевидно, что однородность насыпки модифицированного измельченного сырья напрямую влияет на характеристики плит, такие как равномерность и равнотолщинность. Выгруженный биостойкий композит далее проходит весовой контроль на устройстве (29) и металлоискатель (30), не прошедшие контроль плиты выгружаются в емкость для брака (31). Прошедший контроль биостойкий композит поступает на прессовку в ленточный пресс (32). При прессовании воздействует давление в пределах  $20$  кПа, осуществляемое прижимающими ленточными конвейерами в процессе формирования плиты. Продолжительность прессования составляет  $0,3\text{--}0,35$  минуты на каждый миллиметр толщины плиты. Готовые плиты выгружаются на приемную (разгрузочную) этажерку и затем направляются на линию, где происходит их разрезание на необходимые размеры с использованием резательной установки (33). После этого они укладываются в стопы и выдерживаются не менее  $5$  суток.

---

В заключение плиты проходят калибровку (34), затем подаются на пост упаковки и транспортировки на склад готовой продукции автопогрузчиком (36). Технологическая схема производства теплоизоляционного материала на основе модифицированных измельченных стеблей борщевика Сосновского с полиуретановым связующими представлена ниже.

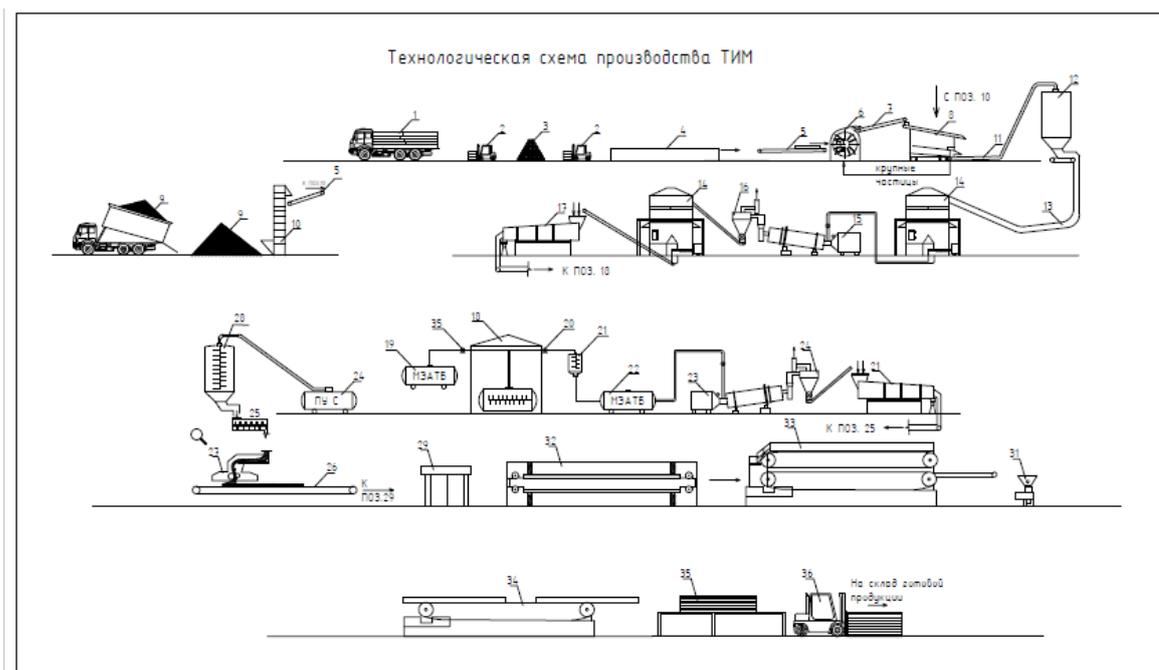


Рис. 1. – Технологическая схема производства теплоизоляционного материала

Для подтверждения получения биостойких композиционных материалов для целей теплоизоляции на основе модифицированных стеблей борщевика Сосновского с полиуретановым связующим были проведены лабораторные испытания полученных образцов. Результаты этих испытаний представлены в таблице 1 ниже.

Таблица № 1

Теплофизические свойства и оценка биостойкости полученных материалов  
[13-16]

Условные обозначения	Плотность, (г/см <sup>3</sup> )	Теплопроводность	прочность при изгибе,	прочность на сжатие	оценки биостойкости,

e*		Вт/(м·°С)	МПа	при 10%-ной деформации, МПа	%
БС5ПУ*	142	0,050	1,22	0,41	0
БС5мПУ**	182	0,055	1,32	0,40	100

**БС5ПУ\*** – композит, полученный из не модифицированных измельченных борщевика Сосновского по размерам частицы до 5 мм с полиуретановым связующим.

**БС5мПУ\*\*** – композит, полученный из модифицированных измельченных борщевика Сосновского по размерам частицы до 5 мм с полиуретановым связующим.

Исходя из результатов, приведенных в таблице, можно отметить, что композиты, полученные с предварительной модификацией измельченных стеблей борщевика Сосновского, имеют биологическую стойкость - 100%, в тоже время как материалы, полученные со стеблями без модификации, имеют 0% биологической стойкости. Кроме того, теплопроводность полученных биостойких композитов составляет 0,055 Вт/(м·К) при средней плотности 182 кг/м<sup>3</sup>, что соответствует действующим стандартам для теплоизоляционных материалов. Что касается механических свойств, то следует также отметить, что по сравнению с композитами, полученными без модификации, прочность на изгиб композитов с использованием модифицированных стеблей борщевика выше, чем композитов с необработанными стеблями.

Все это доказывает, что использование модификатора не только приводит к получению 100% биостабильных композитов, но и обеспечивает лучшие теплофизико-механические свойства, отвечающие требованиям современных стандартов теплоизоляции.

И наконец, всё это позволяет нам предсказать, что разработанная технологическая схема производства биостойких теплоизоляционных материалов приведет к производству высококачественных плит, что позволит их использовать в качестве изоляционных материалов при строительстве зданий.

### Литература

1. Bovo M. Niccolò G., Alberto B., Laura M., Luca B. , Loris G. , Daniele T. , Patrizia T. Contribution to thermal and acoustic characterization of corn cob for bio-based building insulation applications // *Energy and Buildings*. – 2022. – Т. 262. – р. 111994.

2. Ширяев Д. В. Теплоизоляционные материалы на основе модифицированных методом взрывного автогидролиза отходов растительного происхождения: дис. – Сибирский государственный технологический университет, 2013. – С. 146.

3. Smirnova O. E., Pichugin A. P. Structural and thermal insulation products based on vegetable raw materials // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – IOP Publishing, 2019. – Т. 687. – №. 2. – С. 022024.

4. Гудков Д. Н., Дубровская О. Г., Кулагин В. А. Получение строительного теплоизоляционного материала из отходов деревообработки // *International Journal of Advanced Studies*. – 2018. – Т. 8. – №. 4. – С. 55-65.

5. Сусоева И. В. Физико-механические показатели теплоизоляционных материалов из отходов растительного сырья // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. – 2018. – №. 5. – С. 71-79.

6. Золотарев А. С. Разработка современных экологичных теплоизоляционных материалов на основе переработки отходов растениеводства // *Научный журнал молодых ученых*. – 2022. – №. 5 (30). – С. 45-50.

7. Бакатович А. А., Чжан И., Гаспар Ф. Изоляционные композиты на основе смеси рисовой лузги и соломы // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2022. – №. 14. – С. 2-9.

8. Бакатович А. А., Давыденко Н. В., Долгонок А. В. Стеновые материалы на основе соломы и костры льна с высокими теплоизоляционными свойствами // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2016. – №. 8. – С. 28-32.

9. Романовский С. А., Бакатович А. А., Давыденко Н. В. Перспективы применения очесов волокна льна в производстве теплоизоляционного материала // Синергия. – 2017. – №. 4. – С. 98-107.

10. Конюхов М. В., Послед Е. В. Теплоизоляционные плиты на основе кокосовых волокон //Электронный сборник трудов молодых специалистов Полоцкого государственного университета имени Евфросинии Полоцкой. Прикладные науки. Строительство. – 2022. – №. 44. – С. 71-72.

11. Якунина Е. А. Современные теплоизоляционные материалы, как одна из тенденций экологического строительства //Синергия наук. – 2018. – №. 24. – С. 625-634.

12. Сусоева И. В. Научные основы управления физико-химическими процессами структурообразования теплоизоляционного материала из многокомпонентного целлюлозосодержащего наполнителя: Дис.... докт. техн. Наук. – Иваново, 2021. С. 414.

13. Степина И. В., Содомон М. Биостойкий композиционный материал на основе модифицированных стеблей борщевика сосновского //Актуальные вопросы строительного материаловедения. – 2021. – С. 164-169.

14. Степина И. В., Содомон М. Биостойкий растительный композит для теплоизоляции // Строительство и реконструкция. – 2022. – №. 5. – С. 115-123.

15. Содомон м., И.В. Степина, А.Д. Жуков, А.М. Минаева Теплоизоляционные материалы на основе модифицированного растительного сырья // Строительное материаловедение: настоящее и будущее: сборник материалов II Всероссийской научной конференции, посвящённой столетнему юбилею Московского государственного строительного университета МИСИ – МГСУ— Москва: Издательство МИСИ – МГСУ, 2021. — С. 162-166 ISBN 978-5-7264-2933-5.

16. Содомон М., Степина И. В. Теплофизические свойства композитного материала на основе растительного сырья // Техника и технология силикатов. – 2022. – Т. 29, № 4. – С. 342-349. – EDN WNQZCQ.

### References

1. Bovo M. Niccolò G., Alberto B., Laura M., Luca B. , Loris G. , Daniele T. , Patrizia T. Energy and Buildings. 2022. V. 262. P. 111994.

2. Shirayayev D. V. Teploizolyatsionnyye materialy na osnove modifitsirovannykh metodom vzryvnogo avtogidroliza otkhodov rastitel'nogo proiskhozhdeniya [Thermal insulating materials on the basis of modified by explosive autohydrolysis wastes of plant origin]. Sibirskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskiy universitet, 2013. P. 146.

3. Smirnova O. E., Pichugin A. P. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. V. 687. №. 2. P. 022024

4. Gudkov D. N., Dubrovskaya O. G., Kulagin V. A. International Journal of Advanced Studies. 2018. V. 8. №. 4. Pp. 55-65.

5. Susoyeva I. V. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. 2018. №. 5. Pp. 71-79.

6. Zolotarev A. S. Nauchnyj zhurnal molodyh uchenyh. 2022. №. 5 (30). pp. 45-50.
  7. Bakatovich A. A., Chzhan I., Gaspar F. Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki. 2022. №. 14. Pp. 2-9.
  8. Bakatovich A. A., Davydenko N. V., Dolzhonok A. V. Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F. 2016. №. 8. Pp. 28-32.
  9. Romanovskiy S. A., Bakatovich A. A., Davydenko N. V. Sinergiya. 2017. №.4. Pp. 98-107.
  10. Konyukhov M. V., Posled Ye. V. Elektronnyj sbornik trudov molodykh spetsialistov Polotskogo gosudarstvennogo universiteta imeni Yevfrosinii Polotskoy. Prikladnyye nauki. 2022. №. 44. Pp. 71-72.
  11. Yakunina Ye. A. Sinergiya nauk. 2018. №. 24. Pp. 625-634.
  12. Susoyeva I. V. Nauchnyye osnovy upravleniya fiziko-khimicheskimi protsessami strukturoobrazovaniya teploizolyatsionnogo materiala iz mnogokomponentnogo tsellyulozosoderzhashchego napolnitelya [Scientific bases of management of physical and chemical processes of structure formation of heat-insulating material from multi-component cellulose-containing filler]. Ivanovo, 2021. P. 414.
  13. Stepina I. V., Sodomon M. Aktual'nyye voprosy stroitel'nogo materialovedeniya. 2021. Pp. 164-169.
  14. Stepina I. V., Sodomon M. Stroitel'stvo i rekonstrukciya. 2022. №. 5. Pp. 115-123.
  15. Sodomon m., I.V. Stepina, A.D. Zhukov, A.M. Minayeva Sbornik materialov II Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii, posvyashchonnoy stoletnemu yubileyu Moskovskogo gosudarstvennogo stroitel'nogo universiteta MISI – MGSU. Moskva 2021. Pp. 162-166. ISBN 978-5-7264-2933-5.
-



16. Sodomon M., Stepina I. V. Tekhnika i tekhnologiya silikatov. 2022. V. 29, №. 4. Pp. 342-349. EDN WNQZCQ

**Дата поступления: 15.03.2024**

**Дата публикации: 18.04.2024**