

УДК 691.1

## ТЕПЛОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ НА ОСНОВЕ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО

**А.А. Бакатович, Е.А. Кондыбайло, Е.С. Власов**

Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой, Республика Беларусь  
e-mail: a.bakatovich@psu.by, e.s.vlasov@students.psu.by, e.a.kondybaylo@students.psu.by

*Представлены результаты исследований по получению из борщевика Сосновского структурообразующего материала для тепловой изоляции. Рассмотрено влияние вида структурообразующего материала (волокна, фракционированных частиц) с учётом плотности на коэффициент теплопроводности засыпной изоляции.*

**Ключевые слова:** коэффициент теплопроводности, плотность, борщевик Сосновского, волокна, частицы.

## THERMAL INSULATION ON STRUCTURING MATERIAL FROM SOSNOVSKY HOGWEED

**A. Bakatovich, E. Kondybaylo, E. Vlasov**

Euphrosyne Polotskaya state university of Polotsk, Republic of Belarus  
e-mail: a.bakatovich@psu.by, e.s.vlasov@students.psu.by, e.a.kondybaylo@students.psu.by

*The results of studies on the production of Sosnovsky structure-forming material for thermal insulation from hogweed are presented. The influence of the type of structure-forming material, taking into account the density, on the thermal conductivity coefficient of backfill insulation is considered.*

**Keywords:** thermal conductivity coefficient, density, Sosnovsky hogweed, fibers, particles.

**Введение.** За последние десятилетия, в связи с хозяйственной деятельностью человека, на территорию Республики Беларусь проник и распространился целый ряд инвазивных видов растений. В данный перечень входит и борщевик Сосновского (*Heracleumsosnowskyi* Manden.), ввезенный в 1940-х годах с Кавказа и некоторое время, использовавшийся в качестве силосного растения. Ошибочной является версия о том, что борщевик завезен к нам в страну в 1960-х гг. вместе с семенным материалом кукурузы из США. В Северной Америке произрастает только один вид борщевика – Гераклиум максимальный, который является безопасным для человека [1].

Листья борщевика содержат фуранокумарины, повышающие чувствительность кожи к солнечному свету, а именно к ультрафиолету, и вызывают ожоги. При работе с борщевиком люди получали ожоги первой–третьей степени. По этим причинам борщевик Сосновского перестали культивировать. В 1990-х годах борщевик вышел из-под контроля и стал произрастать на заброшенных землях, вдоль ручьев, канав и дорог, на территории населенных пунктов, превратившись в сорняк, опасный не только для сельского хозяйства, но и для здоровья людей, в результате чего возникла необходимость разработки и внедрения системы мероприятий по уничтожению очагов распространения. На территории Республики Беларусь борщевик Сосновского выявлен в 103 районах и городах, общая площадь произрастания на 01.01. 2020 г. составила 4615,73 га, из них 3947,41 га (85,5 %) приходится на Витебскую область. На втором месте по степени распространения сорняка находится Минская область. На долю региона приходится 364,65 га (7,9 %) от общей площади произрастания борщевика в республике [2].

В местах обитания борщевик практически полностью вытесняет аборигенную растительность, образуя нехарактерные по составу и облику для нашей территории растительные сообщества. Борщевик Сосновского может расти повсеместно, во всех почвенно-климатических зонах

республики. Он хорошо развивается на дерново-подзолистых окультуренных почвах легкого и среднего механического состава со слабокислой или нейтральной реакцией среды – супесях, легких и средних суглинках, подстилаемых мореной или песками, а также на дерновых и дерново-карбонатных почвах с временным переувлажнением. Наибольшая скорость расселения отмечена на влажных пойменных луговинах [3].

Зеленая масса растений борщевика Сосновского 3-го года жизни содержит: протеина – 11,5–17,1%, водорастворимых сахаров – 10,8–17,4%, жира – 3,15–4,2%, клетчатки – 15,7–20,1%, безазотистых экстрактивных веществ – 51,7–52,1% [2]. В составе также обнаружено 14% каротинов; дубильные вещества, эфирные масла; глютамин; кумарины. Листья и стебли содержат витамины: каротин, аскорбиновую кислоту, витамин Е [3].

Существуют несколько вариантов использования борщевика Сосновского [4].

1. Применения борщевика Сосновского как кормадля крупнорогатого скота, обеспечивающего прирост массы и удоев.
2. Производство сахара, с повышением рентабельности существующих сахарных заводов.
3. Получение спирта (биоэтанола), в качестве топлива и возобновляемого источника энергии.
4. Получение древесного угля из жмыха борщевика для бытовых нужд.
5. Получение целлюлозы из жмыха борщевика для производства картона.
6. Производство пеллет и гранул для отопления.
7. Выпуск эфирных масел для различных отраслей промышленности.

Накопленный к настоящему времени опыт включает следующие методы борьбы с этим опасным инвазивным видом [5].

1. Выкапывание стеблекорней. Выкапывание стеблекорней – трудоемкий, но самый эффективный метод, благодаря которому борщевик уничтожается после одной операции. Выкапывать следует растения, которые находятся на ювенильной стадии развития.

2. Стравливание путем выпаса скота. В этом случае популяцию борщевика огораживают и используют как пастбище.

3. Использование укрывных затеняющих материалов.

4. Укрытие участка чистым от семян борщевика слоем грунта.

5. Вспашка. Это один из лучших методов механического уничтожения гигантских борщевиков, хотя и должен применяться для полного их уничтожения в течение нескольких лет, так как крупные стеблекорни способны к отрастанию даже после оборота плугом почвенного пласта.

6. Периодическое скашивание растений. Кошение популяций борщевика Сосновского в настоящее время является одним из наиболее распространенных механических способов борьбы с этим инвазивным видом. Кошение не приводит к полному уничтожению растений, поскольку верхушечная точка роста находится в почве.

8. Использование природных патогенов и вредителей гигантских борщевиков. Это наиболее экологичный метод, применение которого позволяло бы поддерживать численность популяций инвазивного вида на экономически и экологически допустимом уровне.

9. Химический метод борьбы.

**Материалы и методы испытаний.** В качестве исходного сырья для теплоизоляционного материала применяли стебли борщевика Сосновского, собранного в летний период в д. Зазерье, Гомельского сельсовета, Полоцкого района, Витебской области.

Для получения волокнистой биомассы свежесрезанные стебли борщевика Сосновского механически перерабатывали с помощью измельчителя «Эликор 1». Размер волокон и частиц в биомассе на выходе контролировали установленным в измельчителе ситом с диаметром ячеек 5 мм. После измельчения из сырьевой массы свежего борщевика Сосновского формовали плиты, размерами 250×250×30 мм, с помощью подпрессовки, с удалением значительного количества сока растения.

Вторую часть измельчённой биомассы борщевика Сосновского помещали в сушильный шкаф SNOL 60/300 LFN и сушили при температуре 50°C. Затем материал хранили при относительной влажности воздуха 60%. Далее отделяли волокна и фракционировали частицы. Фракционирование частиц выполняли на ситах с диаметром ячейки 5 мм, 2 мм. В результате было получено две фракции. Дальнейшие исследования проводились на фракциях диаметрами сит 5 мм (средняя фракция) и 2,5 мм (мелкая фракция) и на волокнах длиной 10-40 мм (рисунок 1).



Рисунок 1. – Волокна, средняя и мелкая фракции борщевика Сосновского (слева на право)

Коэффициент теплопроводности плит из засыпного материала определяли по стандарту EN 12667 на образцах размером 250×250×30 мм, при относительной влажности воздуха 60% и в абсолютно сухом состоянии.

Для волокон и частиц средней и мелкой фракции коэффициент теплопроводности определяли в насыпном состоянии без вяжущего компонента. Необходимое количество измельченного борщевика Сосновского засыпали и равномерно распределяли в измерительном устройстве прибора ИТП - МГ4, для установления показателя теплопроводности.

**Результаты лабораторных исследований.** На первом этапе исследования влияния плотности волокон и фракций на коэффициент теплопроводности плит борщевика Сосновского проводили на волокнах и частицах средней и мелкой фракциях, при относительной влажности воздуха 60%. Результаты исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Свойства структурообразующего материала из борщевика Сосновского для тепловой изоляции при относительной влажности воздуха 60%

Вид структурообразующего материала	Масса, г	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)
Волокна	95	47,5	0,069
	120	60	0,062
	130	65	0,059
	145	72,5	0,057
	155	77,5	0,057
	170	85	0,057
	180	90	0,057
	195	97,5	0,055
Средняя фракция	225	112,5	0,052
	130	65	0,058
	155	77,5	0,059
	180	90	0,059
Мелкая фракция	205	102,5	0,059
	145	72,5	0,056
	155	77,5	0,056
	180	90	0,057
	205	102,5	0,058

Для тепловой изоляции из волокон при минимальной плотности 47,5 кг/м<sup>3</sup> получили максимальный коэффициент теплопроводности 0,069 Вт/(м·°С). Постепенное повышение плотности до 72,5 кг/м<sup>3</sup> позволило снизить коэффициент теплопроводности на 17,4% и достигнуть значения равного 0,057 Вт/(м·°С). Коэффициент теплопроводности при имел стабильный показатель, соответствующий 0,057 Вт/(м·°С) при изменении плотности в пределах 72,5-90 кг/м<sup>3</sup>. Повышение плотности на 35,6% обеспечило понижение показателя коэффициента теплопроводности на 8,8% до значения 0,052 Вт/(м·°С).

Варьирование плотности образцов средней фракции от 65 до 102,5 кг/м<sup>3</sup> не выявило значительных изменений в показателях коэффициентов теплопроводности, находящихся на уровне 0,058-0,059 Вт/(м·°С).



Рисунок 2.– Волокна, средняя и мелкая фракции борщевика Сосновского в измерителе (слева на право)

При исследовании мелкой фракции установлено, что минимальные значения теплопроводности 0,056 Вт/(м·°С) соответствует плотности 72,5-77,5 кг/м<sup>3</sup>. Повышение плотности образцов мелкой фракции до 102,5 кг/м<sup>3</sup> влечёт за собой незначительный прирост коэффициента теплопроводности.

Предварительные исследования по выбору оптимального расхода структурообразующего материала показали, что для получения плит плотность структурообразующего материала без вяжущего компонента составляет: для мелкой фракции – 72,5-102,5 кг/м<sup>3</sup>; средней фракции – 65-102,5 кг/м<sup>3</sup> и волокон – 112,5 кг/м<sup>3</sup>.

Коэффициент теплопроводности образцов на втором этапе испытаний определяли в абсолютно сухом состоянии. Исследования проводили также на структурообразующих материалах из волокон и частиц средней и мелкой фракции (таблица 2).

Таблица 2. – Свойства структурообразующего материала из борщевика Сосновского для тепловой изоляции в абсолютно сухом состоянии

Вид структурообразующего материала	Масса, г	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)
Волокна	135 (145*)	67,5	0,053
	160 (170*)	80	0,050
	185 (195*)	92,5	0,047
	210 (225*)	105	0,045
Средняя фракция	120 (130*)	60	0,055
	140 (155*)	77,5	0,051
	195 (205*)	97,5	0,048
Мелкая фракция	130 (145*)	65	0,048
	140 (155*)	72,5	0,048
	170 (180*)	85	0,048
	195 (205*)	97,5	0,046

\* – масса образцов при относительной влажности воздуха 60%.

Структурообразующий материал из волокон борщевика Сосновского при плотности  $67,5 \text{ кг/м}^3$  демонстрирует достаточно низкий показатель теплопроводности равный  $0,053 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ . С увеличением плотности на  $55,6 \%$  наблюдается снижение коэффициента теплопроводности на  $15,1 \%$  до значения  $0,045 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ .

Для средней фракции наблюдается аналогичная тенденция. Возрастание плотности образцов от  $60$  до  $97,5 \text{ кг/м}^3$  уменьшает коэффициент теплопроводности на  $12,7\%$  соответствующий  $0,048 \text{ кг/м}^3$ .

При варьировании плотности от  $65$  до  $85 \text{ кг/м}^3$  для мелкой фракции коэффициент теплопроводности не изменяется и находится на уровне  $0,048 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ . Коэффициент теплопроводности показывает минимальное значение равное  $0,046 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$  при плотности  $97,5 \text{ кг/м}^3$ .

Минимальные показатели коэффициента теплопроводности равные  $0,045$  и  $0,046 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$  демонстрируют образцы на основе волокон и мелкой фракции борщевика Сосновского при плотностях  $105$  и  $97,5 \text{ кг/м}^3$  соответственно.

Высушивание образцов до абсолютно сухого состояния вызывает потери по массе  $6,7\text{--}6,9\%$ . Изменение массы за счет удаления влаги из материала обеспечило существенное снижение коэффициента теплопроводности как для волокон, так и для фракционированных частиц борщевика. Коэффициент теплопроводности образцов волокон борщевика при массах  $210 \text{ г}$  ( $225 \text{ г}^*$ ) снизился на  $13,5\%$  достигнув показателя  $0,045 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ . На средней фракции борщевика наиболее значительное изменение коэффициента теплопроводности на  $18,6\%$  зафиксировано на образцах массой  $195 \text{ г}$  ( $205 \text{ г}^*$ ). В итоге показатель снизился до  $0,048 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ . Сушка образцов мелкой фракции при максимальной плотности позволила уменьшить коэффициент теплопроводности на  $20,7 \%$  и получить показатель на уровне  $0,046 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ .

**Заключение.** На основании вышесказанного можно сделать следующие выводы.

1. В абсолютно сухом состоянии образцы из волокон и фракционированных частиц борщевика Сосновского при плотности  $97,5 - 105 \text{ кг/м}^3$  обеспечивают показатели коэффициента теплопроводности на уровне  $0,045\text{--}0,048 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ .

2. При относительной влажности воздуха  $60 \%$  коэффициент теплопроводности изменяется в сторону увеличения на  $15,6\text{--}26,1\%$  до показателей  $0,052\text{--}0,059 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ .

3. Результаты испытаний подтверждают возможность использования переработанного борщевика Сосновского в виде волокон и фракционированных частиц, как засыпной тепловой изоляции.

4. Применение борщевика Сосновского в качестве структурообразующего сырья обеспечивает утилизацию инвазивного растения с наибольшей эффективностью как экологически безопасного теплоизоляционного материала.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Н.А. Ламан, В.Н. Прохоров, А.В. Бабков, М.М. Сак, А.В. Усик, Е.Н. Олешук, К.М. Герасимович, И.А. Овчинников. МЕТОДОЛОГИЯ И СПОСОБЫ ОГРАНИЧЕНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ИСКОРЕНЕНИЯ ГИГАНТСКИХ БОРЩЕВИКОВ. УДК 581.6.
2. О.А. ШКЛЯРЕВСКАЯ, научный сотрудник лаборатории гербологии РУП «Институт защиты растений», Беларусь Е.А. ЯКИМОВИЧ, заместитель директора по науке, кандидат сельскохозяйственных наук.
3. Танирбергенов Т.Б., Бабушкина А.Е., Васюкова Н.С. Некоторые аспекты доклинического изучения растений рода борщевик (*Heracleum L.*): обзор публикаций. Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2018;21(10):104–111.
4. Репнин А. Ф., Рошин В. И. СРАВНЕНИЕ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ КОРНЕЙ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО ОСЕННЕГО И ЛЕТНЕГО СБОРОВ.
5. Шемякина А. В. ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ВИД – БОРЩЕВИК РАССЕЧЕННЫЙ. УДК: 630\*283.9.