

УДК 691.1

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СТРУКТУРООБРАЗУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА ИЗ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО

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

Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой,
г. Новополоцк, Республика Беларусь

e-mail: a.bakatovich@psu.by, e.a.kondybaylo@students.psu.by, e.s.vlasov@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 и влажности на коэффициент теплопроводности экспериментальных образцов изоляции.

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

THE EFFECT OF HUMIDITY ON THE COEFFICIENT OF THERMAL CONDUCTIVITY OF THE STRUCTURE-FORMING MATERIAL FROM SOSNOVSKY HOGWEED

A. Bakatovich, E. Kondybaylo, E. Vlasov

Euphrosyne Polotskaya state university of Polotsk, Novopolotsk, Republic of Belarus

e-mail: a.bakatovich@psu.by, e.a.kondybaylo@students.psu.by, e.s.vlasov@students.psu.by

The results of research on the production of a structure-forming material for thermal insulation from Sosnovsky hogweed are presented. The influence of the type of structure-forming material (fibers, fractionated particles), taking into account density and humidity, on the thermal conductivity coefficient of experimental insulation samples is considered.

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

Введение. За вторую половину прошлого столетия, в связи с хозяйственной деятельностью человека, на территорию Республики Беларусь проник и распространился целый ряд инвазивных видов растений. В данный перечень входит борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* 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, абсолютно безопасный для человека [1].

Борщевик Сосновского является многофункциональным растением [2]:

1. Применение в виде корма для крупнорогатого скота, обеспечивающего прирост массы и удоев.
2. Производство сахара, с повышением рентабельности сахарных заводов.
3. Получение спирта (биоэтанола), в качестве топлива.
4. Переработка жмыха борщевика в древесный уголь для бытовых нужд.
5. Получение целлюлозы из жмыха борщевика для производства картона.

6. Выпуск пеллет и гранул для отопления.

7. Производство эфирных масел для различных отраслей промышленности.

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 возникла необходимость разработки и внедрения системы мероприятий по уничтожению очагов распространения борщевика [3].

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. Второе место по степени распространения сорняка занимает Минская область. На регион приходится 364,65 га (7,9%) от общей площади произрастания борщевика в республике [3].

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. Растение хорошо развивается на супесях, легких и средних суглинках. Наибольшая скорость расселения отмечена на влажных пойменных луговинах [4].

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

1. Выкапывание стеблекорней – трудоемкий, но самый эффективный метод, благодаря которому борщевик уничтожается после одной операции.

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 — один из лучших методов механического уничтожения гигантских борщевика. Для полного уничтожения борщевика вспашка должна применяться в течение нескольких лет.

6. Скашивание - наиболее распространенный механический способ борьбы, но скашивание не приводит к полному уничтожению растений, поскольку верхушечная точка роста находится в почве.

7. Использование природных патогенов и вредителей гигантских борщевиков.

8. Химический метод борьбы заключается в обработке специальными составами, вызывающими гибель растения.

Следует отметить, что борщевик необходимо утилизировать в том числе и в осенне-зимний период. Когда растение высыхает на корню. В этот период растение является источником распространения семян, особенно по снежному настилу, при ветренной погоде.

Рациональным способом утилизации борщевика не зависимо от периода сбора может являться применение растения в виде структурообразующего материала для тепловой изоляции.

Материалы и методы испытаний. Стебли борщевика Сосновского использовали в качестве исходного сырья для структурообразующего материала теплоизоляции. Борщевик собирали в летний период в д. Зазерье, Гомельского сельсовета, Полоцкого района, Витебской области.

Зеленая масса 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 присутствует 14% ка-

ротинов, дубильные вещества, эфирные масла; глютамин; кумарины. Листья и стебли содержат витамины: каротин, аскорбиновую кислоту, витамин Е [4].

Для получения волокнистой биомассы свежесрезанные стебли борщевика Сосновского механически перерабатывали с помощью измельчителя «Эликор 1». Измельчённую биомассу борщевика Сосновского помещали в сушильный шкаф SNOL 60/300 LFN и сушили при температуре 50°C. Затем материал хранили при относительной влажности воздуха 60 - 70%. Далее от биомассы отделяли волокна и фракционировали оставшиеся частицы. Дальнейшие исследования проводились на структурообразующем материале полученном после просеивания на ситах с диаметром сит 5 мм (средняя фракция) и 2,5 мм (мелкая фракция) и на предварительно отобранных волокнах длиной 10-40 мм (рис. 1).



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

Коэффициент теплопроводности структурообразующего материала без вяжущего компонента определяли по стандарту EN 12667 на образцах размером 250×250×30 мм, при относительной влажности воздуха 60 - 70% и в абсолютно сухом состоянии. Необходимое количество волокон, частиц средней и мелкой фракции засыпали и равномерно распределяли в измерительном устройстве прибора ИТП-МГ4, а затем проводили измерение коэффициента теплопроводности.

Результаты лабораторных исследований. На первом этапе исследовали влияние плотности волокон и фракций на коэффициент теплопроводности. Испытания проводили на волокнах, частицах средней и мелкой фракций, хранившихся при относительной влажности воздуха 60 - 70%. Результаты исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Плотность и коэффициент теплопроводности структурообразующего материала из борщевика при относительной влажности воздуха 60 – 70%

Структурообразующий материал	Масса образца, г	Плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)
1	2	3	4
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
	225	112,5	0,052

Окончание таблицы 1.

1	2	3	4
Средняя фракция	130	65	0,058
	155	77,5	0,059
	180	90	0,059
	205	102,5	0,059
Мелкая фракция	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/м³ получили максимальный коэффициент теплопроводности 0,069 Вт/(м·°С). Постепенное повышение плотности до 72,5 кг/м³ позволило снизить коэффициент теплопроводности на 17,4% и достигнуть значения равного 0,057 Вт/(м·°С). Коэффициент теплопроводности имел стабильный показатель, соответствующий 0,057 Вт/(м·°С) при изменении плотности в пределах 72,5 – 90 кг/м³. Дальнейшее повышение плотности на 35% 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/м³ 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 приборе ИТП-МГ4 (слева на право)

При исследовании мелкой фракции установлено, что минимальные значения теплопроводности 0,056 Вт/(м·°С) соответствует плотности 72,5 – 77,5 кг/м³. Повышение плотности образцов мелкой фракции до 102,5 кг/м³ влечёт за собой незначительный прирост коэффициента теплопроводности. 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).

Структурообразующий материал из волокон борщевика Сосновского при плотности 67,5 кг/м³ демонстрирует достаточно низкий показатель теплопроводности равный 0,053 Вт/(м·°С). С увеличением плотности до 105 кг/м³ наблюдается снижение коэффициента теплопроводности на 15,1 % до значения 0,045 Вт/(м·°С). Для средней фракции прослеживается аналогичная тенденция. Возрастание плотности образцов от 60 до 97,5 кг/м³ обеспечивает понижение коэффициента теплопроводности на 12,7% и соответствует 0,048 кг/м³. При варьировании плот-

ности от 65 до 85 кг/м³ для мелкой фракции коэффициент теплопроводности не изменяется и находится на уровне 0,048 Вт/(м·°С). Коэффициент теплопроводности мелкой фракции показывает минимальное значение равное 0,046 Вт/(м·°С) при плотности 97,5 кг/м³.

Таблица 2. – Плотность и коэффициент теплопроводности структурообразующего материала из борщевика в абсолютно сухом состоянии

Структурообразующий материал	Масса образца, г	Плотность, кг/м ³	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 – 70 %

Таким образом минимальные показатели коэффициента теплопроводности равные 0,045 и 0,046 Вт/(м·°С) демонстрируют образцы на основе волокон и мелкой фракции борщевика Сосновского при плотностях 105 и 97,5 кг/м³ соответственно. Высушивание образцов до абсолютно сухого состояния вызывает потери по массе 6,7 – 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 г (225 г)* снизился на 13,5% достигнув показателя 0,045 Вт/(м·°С). На средней фракции борщевика наибольшее понижение коэффициента теплопроводности на 18,6% (до 0,048 Вт/(м·°С)) зафиксировано на образцах массой 195 г (205 г)*. Сушка образцов мелкой фракции при максимальной плотности позволила уменьшить коэффициент теплопроводности на 20,7% и получить показатель на уровне 0,046 Вт/(м·°С).

Заключение

1. В абсолютно сухом состоянии образцы из волокон и фракционированных частиц борщевика Сосновского при плотности 97,5 – 105 кг/м³ обеспечивают показатели коэффициента теплопроводности на уровне 0,045 – 0,048 Вт/(м·°С).

2. При нахождении в условиях относительной влажности воздуха 60 – 70% влажность структурообразующего материала соответствует 6,7 – 6,9%. Повышение влажности отрицательно влияет на коэффициент теплопроводности в сторону увеличения показателя на 15,6 – 26,1% до значений 0,052 – 0,059 Вт/(м·°С).

3. Результаты испытаний подтверждают возможность использования переработанного борщевика Сосновского в виде волокон и фракционированных частиц, как засыпной тепловой изоляции. Введение вяжущего компонента позволит снизить влажность структурообразующего материала и получить теплоизоляционные плиты с низким коэффициентом теплопроводности.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Методология и способы ограничения распространения и искоренения гигантских борщевиков / Н.А. Ламан, В.Н. Прохоров, А.В. Бабков, М.М. Сак, А.В. Усик, Е.Н. Олешук, К.М. Герасимович, И.А. Овчинников //

Научно-практический семинар «Стратегия ограничения распространения и искоренения гигантских борщевиков и других опасных инвазивных видов растений», Минск; Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси, 17-19 сентября 2019 г. – С. 43.

2. Экологические способы борьбы с инвазивным видом борщевик Сосновского / Н.Н. Семчук, О.В. Балун, С.Н. Гладких, А.Н. Перекопский // Агроэкоинженерия, Новгородский НИИ сельского хозяйства – филиал Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра Российской академии наук, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. – СПб., 2022. – С. 104–113.
3. Шкляревкая О.А. Опыт борьбы с борщевиком Сосновского в Беларуси // Защита и карантин растений, г. Москва; Журнал "Защита и карантин растений", 2020. – С. 13–17.
4. Танирбергенов Т.Б., Бабушкина А.Е., Васюкова Н.С. Некоторые аспекты доклинического изучения растений рода борщевика (*Heracleum L.*) // Перспективы лекарственного растениеводства; Коллектив авторов, Минск. 2018. – С. 106. – DOI:10.29296/25877313-2018-10-20.
5. От растения до лекарственного препарата / Н.И. Сидельников, П.Г. Мизина, А.И. Морозов, О.А. Семкина, О.Л. Сайбель, И.А. Лупанова, Д.Н. Балеев, В.Ю. Масляков, Ф.М. Хазиева, А.Н. Цицилин, П.С. Савин, Л.В. Крепкова, Е.В. Ферубко, Т.В. Фатеева // Международная научная конференция «От растения до лекарственного препарата», Федеральное бюджетное учреждение «Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства», Хабаровск, 04–05 июня 2020 г. – М. – С. 57-64.