

ОБРАБОТКА ОТХОДОВ КЕДРОВОГО ПРОМЫСЛА ИК-ИЗЛУЧЕНИЕМ

A.D. Epifanov, G.V. Lukina

PROCESSING OF WASTE OF CEDAR TRADE BY IR RADIATION

Епифанов А.Д. – канд. техн. наук, доц. каф. электроснабжения и электротехники Иркутского государственного аграрного университета им. А.А. Ежевского, Иркутская обл., Иркутский р-н, пос. Молодежный.

E-mail: EAD57@yandex.ru

Лукина Г.В. – канд. техн. наук, доц. каф. электроснабжения и электротехники Иркутского государственного аграрного университета им. А.А. Ежевского, Иркутская обл., Иркутский р-н, пос. Молодежный.

E-mail: LukinaGV@yandex.ru

Epifanov A.D. – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Power Supply and Heating Engineering, Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, Irkutsk Region, Irkutsk District, S. Molodezhny.

E-mail: EAD57@yandex.ru

Lukina G.V. – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Power Supply and Heating Engineering, Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, Irkutsk Region, Irkutsk District, S. Molodezhny.

E-mail: LukinaGV@yandex.ru

В работе представлены результаты по определению эффективного применения электрической энергии, преобразованной в энергию инфракрасного излучения, при термообработке растительного дикорастущего сырья. В процессе переработки сырья растительного происхождения рекомендуется сушить очень быстро, так как при медленной сушке различные биохимические процессы, которые происходят в нем, намного ухудшают качество готового продукта. Для сушки кедровых орех при их сборе, по традиции при хороших погодных условиях, используют солнце – естественный источник энергии. Искусственные источники тепловой энергии – техника и технология, работающая на принципе сжигания угля, газообразного и жидкого топлива. Цель работы – совершенствование и обоснование выбора режима, метода сушки, электротехнических средств и методов по уменьшению энергозатрат для обработки отходов кедровых шишек при использовании частотно-прерывного способа ИК-облучения на 1 кг исследуемого материала. Установлен режим управления инфракрасными облучателями. Выявлен оптимальный режим облучения с постоянным уровнем энергии и переменным временем пауз для цикла облучения: T_0 (время облучения), T_n (время паузы), T_c (время цикла).

Установлено, что электрическая проницаемость кедровой муки в 2–3 раза выше при облучении коротковолновым излучением, чем при облучении длинно- и средневолновым ИК-излучением. В процессе исследований и проведенного анализа были получены данные количественного атомно-эмиссионного состава микроэлементов кедровой муки, которую можно использовать в виде кормовой добавки для сельскохозяйственных животных и пушных зверей. Получены результаты по содержанию микроэлементов и питательных веществ и установлены рекомендации по терморadiационным характеристикам сырья и типам инфракрасных облучателей. Экспериментальные исследования подтвердили высокую энергоэффективность применения кедровой муки в рационе животных.

Ключевые слова: кедровая мука, хвойная мука, микроэлементы, электро-инфракрасный нагрев, сушка, питательные вещества.

In the study the results on the definition of effective use of electric energy transformed to energy of infrared radiation at heat treatment of vegetable wild-growing raw materials are presented. In the course of processing raw materials of phytogenesis are recommended to be dried very quickly as at slow drying various biochemical processes which

happen in it, much more worsen the quality of a ready-made product. For drying cedar nuts at their collecting, by tradition under good weather conditions, use the sun, i.e. a natural power source. Artificial sources of thermal energy are the equipment and technology working at the principle of burning of coal, gaseous and liquid fuel. The purpose of the study is the improvement and justification of the choice of the mode, the method of drying, electrotechnical means and methods on the reduction of energy consumption for processing of waste of cedar cones when using the frequency of breaking way of IR-radiation on 1 kg of studied material. Control mode is set by infrared irradiators. The optimum mode of radiation with constant level of energy and variable time of pauses for a radiation cycle is revealed: T_r (radiation time), T_p (pause time), shopping center (cycle time). It is established that electric permeability of cedar flour is 2–3 times higher at radiation by short-wave radiation, than at radiation by long and medium wave IR-radiation. In the course of researches and carried-out analysis the data of semi-quantitative nuclear and issue structure of microelements of cedar flour which can be used in the form of feed additive for farm animals and fur animals have been obtained. The results on the maintenance of microelements and nutrients are received and recommendations on thermoradiation characteristics of raw materials and to types of infrared irradiators are established. Pilot studies confirmed high energy efficiency of application of cedar flour in a diet of feeding animals.

Keywords: cedar flour, coniferous flour, microelements, electric infrared heating, drying, nutrients.

Введение. В России и мировой практике сушка, как обезвоживание дисперсных материалов, используется при заготовке дикорастущих и сельскохозяйственных продуктов как один из основных способов. Кедровые леса Сибирского федерального округа в классификации природно-ресурсного потенциала занимают до 11,4 % покрытой лесом площади в округе и 78,4 % площади лесов всей РФ, 50 % всей площади по Иркутской области, что подтверждает возможность и целесообразность использования данного материала (отходы кедровых шишек) для сушки ИК-лучами с целью применения их для кормления сельскохозяйственных животных в промышленном объеме [1].

Обработка кедровых шишек, добыча из них орешек сопровождаются большим количеством отходов – стержни, чешуйки и т.д. Весь этот материал идет на выброс на пунктах обработки или непосредственно в тайге. Сами кедровые орешки нашли широкое применение в пищевой промышленности, в быту из-за большого количества в них минеральных веществ и витаминов.

Увеличение масштабов использования электрической энергии в перерабатывающей отрасли позволяет применять современные электротехнологии для переработки дикорастущего и культивируемого сырья растительного происхождения.

Цель исследования. Анализ и выбор режима сушки отходов кедрового промысла при применении инфракрасного нагрева для обработки кедровой муки.

Задачи: выбор искусственного источника электромагнитного излучения и режима его работы с учетом обработки отходов кедровых шишек с максимальной сохранностью в переработанном сырье питательных веществ и микроэлементов.

Объекты и методы исследования. Объекты исследования характеризуются методами управления прерывным ИК-облучением в технологии сушки отходов кедровых шишек. К предметам исследования относят процессы сушки вышеуказанного материала в установке вертикального типа методом частотно-прерывного ИК-нагревателя с учетом времени нагрева.

Оптимизация режима сушки выбирается в зависимости от вида сырья, его структуры и наличия в нём влаги и активно действующих веществ. Превышение температуры в процессе сушки на 10 градусов выше допустимой приводит к потере каротина в 5 раз. При сушке с применением ИК-обогревателей отходы кедровых шишек, имеющие капиллярно-пористую структуру, интенсивно прогреваются. Превышение температуры нагрева отходов переработки выше допустимой, регламентируемой биотехническими условиями, приводит к длительному воздействию высоких температур на продукт и вызывает ухудшение его качества. Установлено, что скорость нагрева кедровой муки определяется выражением

$$V_{пред. доп.} = \frac{t_{пред. доп.}}{T}, \quad (1)$$

где $t_{пред. доп.}$ – предельно допустимая температура нагрева сырья; T – постоянная времени нагрева, с.

Постоянная времени нагрева T характеризует исследуемый материал, мощность ИК-облучателя от которого не зависит. Проводимые исследования показали, что введение элементов искусственной конвекции в процессе сушки отходов кедровых шишек электроинфракрасным нагревом уменьшает скорость нагрева сырья без уменьшения мощности ИК-

нагревателя [2, 3]. Оптимальным для сушки отходов кедровых шишек в результате исследований оказалось «согласное» направление потока электроинфракрасного излучения и воздушного потока. С целью снижения энергозатрат в процессе сушки исследуемого материала рекомендуется использовать прерывный режим работы ИК-нагревателя [4]. Ранее высказанное теоретическое предположение об эффективном применении Ч-П (частотно-прерывного) метода ИК-облучения для обработки отходов кедровых шишек подтвердилось при проведении экспериментов (рис.).

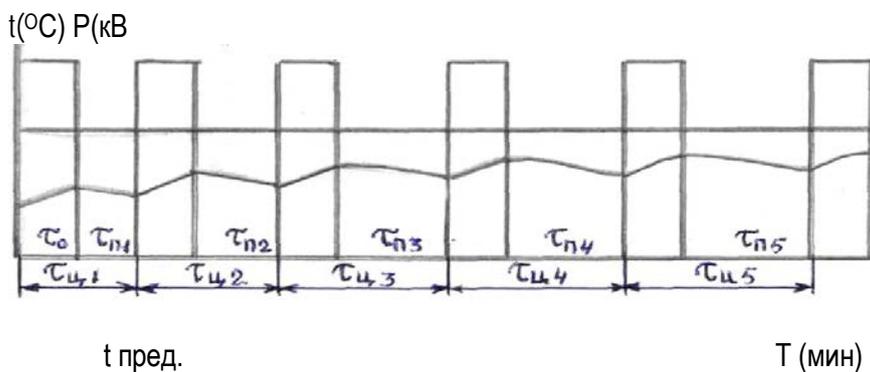


График ИК-облучения с постоянным уровнем энергии с переменным временем пауз и цикла облучения: T_0 – время облучения; $T_{п}$ – время паузы; $T_{ц}$ – время цикла

Результаты исследования и их обсуждение. Удельный расход энергии предложенного способа сушки исследуемого материала меньше по сравнению с другими режимами, а сохранность питательных веществ составляет 80–90 % от исходного (табл. 1).

Анализируя таблицу 1, можно сделать вывод, что способы инфракрасного облучения оказывают значительное влияние на удельный расход электрической энергии. Сравнив удельный расход электрической энергии при двух способах ИК-облучения, можно сказать, что удельный расход уменьшается в 1,6 раза при частотно-прерывном облучении. Также можно отметить, что при частотно-прерывном облучении увеличивается уровень содержания каротина и составляет 21 мг/г, что наиболее приближено к исходному сырью. Наименьшее количество каротина содержится при широтно-прерывном облучении и составляет 14 мг/г. Если брать во внимание процент влажности в вышеуказанных способах, то можно сказать, что частотно-

прерывной способ уступает широтно-прерывному и влажность после сушки незначительно возрастает.

Энергосберегающие принципы диктуют условия для согласования излучательной способности ИК-излучателя и поглощательной способности сырья. Связь между облученностью и максимальной температурой поясняется выводами, предложенными Тиллером и Гарбер [5].

При сравнении спектральных характеристик ИК-излучателей с оптическими свойствами отходов при обработке шишки были получены данные, подтверждающие более ранние результаты исследований О. Кришера, а именно – исследуемый материал обладает максимальной поглощательной способностью в диапазоне 2,8–3,2 мкм. Удельный расход электроэнергии в процессе термообработки отходов при обработке кедровых шишек при нагревании ИК-излучателем в диапазоне от 500 до 800 °С имеет минимальное значение и составляет 1,1–1,4 кВт•ч/кг испаренной влаги.

Результаты сушки отходов кедровых орех

Способ ИК-облучения	Влажность до сушки, %	Влажность после сушки, %	Уд. расход электроэнергии, кВт·ч/кг	Содержание каротина, Мг/г
1. Прерывное облучение (ПС). Время цикла = const	26	5	1	15
2. Широтно-прерывное облучение (ШПС). Время цикла = const	26	5	1	15
3. Частотно-прерывное облучение (ЧПС). Время цикла ≠ const	26	5	0,85	22
4. Параметры исходного сырья	26	-	-	21

$$Q_{\max} = \frac{A_{\lambda} \eta P}{\alpha F}, \quad (2)$$

где A_{λ} – коэффициент поглощения, зависящий от длины волны ИК-нагревателя; P/F – плотность мощности ИК-излучения; α – коэффициент теплоотдачи.

Связь между коэффициентом поглощения материалом ИК-излучения, его температурой

нагрева и плотностью излучения, предложенная ранее Борхердтом, была подтверждена при проведении данных исследований и зависимости удельного расхода электроэнергии от спектрального состава ИК-облучателя [2].

Проведённый анализ на содержание питательных веществ и микроэлементов показал незначительное изменение состава по сравнению с результатами в таблицах 2, 3.

Таблица 2

Характеристика минерального состава кедровой муки

Элемент	Содержание, мг/г	Элемент	Содержание, мг/г	Элемент	Содержание, мг/г
Si	21	Ti	0,4	Cr	0,008
Al	4,1	Zn	0,37	Mo	0,0007
Mg	7	Pb	0,035	Be	0,00025
Ca	5,8	Cu	0,05	Sc	0,00045
Fe	4,2	Ba	0,05	Ga	0,001
Na	1,6	Sr	0,02	Ag	0,00012
K	104	Li	0,003	Cd	0,0005
P	8	Ni	0,015	As	0,025
B	0,12	Co	0,0006	Zr	0,02
Mn	0,35	V	0,004	Y	0,0025

Приведенное выше выражение объясняет, что поглощательная способность исследуемого материала может быть достаточно высокой, если предельная температура нагревателя достигается при меньшей плотности мощности излучателя [6].

Согласно отечественному и зарубежному опыту, к кормовой и витаминной добавке относится кедровая мука, получаемая из отходов кедровых шишек, которая содержит большое

количество микроэлементов, полезных питательных веществ для сельскохозяйственных животных (табл. 2, 3).

Для исследования кедровой муки по терморadiационным характеристикам были взяты отходы при обработке кедровых шишек урожаев предыдущих годов. В исходном сырье не были выявлены следующие элементы: итербий < 0,003; германий < 0,00019; сурьма < 0,0028; лантан < 0,0018; висмут < 0,00018; ниобий < 0,0009.

Таблица 3

Показатели питательности кедровой муки

Химический состав					Содержимое в 1 кг корма							Содержимое в абс. %		
Влага	Сырой протеин	Сырая клетчатка	Сырая зола	Сырой жир	Корм. ед. кг.	Обмен энергией	Пер. протеин, г	Сахар, г	Кальций, г	Каротин, мг	Нитраты	Уксусная кислота	Молочная кислота	РН
12	3	30	1,4	1	0,6	7	4	31	6	2	0	0	0	0

Таблица 4

Содержание микро- и макроэлементов в хвойной и кедровой муке, мг/г

Микроэлементы	Доп. уровни	Мука хвойная	Мука кедровая	Макроэлементы	Доп. уровни	Мука хвойная	Мука кедровая
Нитраты	1000	150	0,0	Кальций	Не ограничено	4,6	5,8
Нитриты	10	2	0,0	Фосфор		1,4	8,0
Тяжелые соли:				Магний		1,0	7,0
меди	100	7,9	0,5	Калий		3,3	104
ртути	0,1	Нет данных	0,0	Натрий		0,2	1,6
цинка	1,2	0,262	0,37	Сера		0,8	—
свинца	10	1,25	0,035	Железо		12,6	4,2
кадмия	1,0	Нет данных	0,0005	Йод		0,11	0,025
мышьяка	1,0	0,03	0,0	Сахар (мг/кг)		16	0,4
Афлатоксин	0,005	Нет данных	Не обнаружен	Сырая клетчатка		70,6	29,6
2,4 Д	не допуск.	Нет данных	Не обнаружен	Каротин		50	22
Селен	ДО 0,5	0,2	Не обнаружен				
Стронций	ДО 0,1	Нет данных	0,02				
Фтор	0,02	Нет данных	Не обнаружен				
Молибден	0,01	0,009	0,0007				
Влажность	Не более 8,0						
Температура сушки		(80-90)°С	(60-90)°С				

Так, например, в хвойной муке содержание таких микроэлементов, как нитриты, нитраты, медь, свинец, мышьяк, молибден, превышает содержание аналогичных элементов в кедровой

муке, в которой они либо не обнаружены, либо пренебрежительно малы. Помимо микроэлементов в состав исследуемого сырья (кедровой муки) входят макроэлементы: кальций, фосфор,

магний, калий, натрий, – наличие которых выше, чем в муке из хвойного сырья. Преимущество хвойной муки состоит лишь в том, что содержание макроэлементов (железо, йод, сахар, сырая клетчатка, каротин) незначительно выше значений в исследуемом материале. В результате сравнительного анализа наличия микро- и макроэлементов в хвойной и кедровой муке можно сделать вывод, что их наличие в хвойной муке уступает кедровой.

Эксперимент проходил в режиме управляемого излучения в инфракрасном диапазоне, что во многом соответствует естественному фону солнечной радиации, и летучие фитоорганические вещества, выделяемые при этом, были аналогичны естественному запаху кедровой тайги, с так называемыми «атмосферными витаминами», которые считаются активаторами ферментов живого организма, ионизируют среду и понижают бактерицидность.

С точки зрения получения целебных фитонцидов при переработке отходов кедровых шишек в кедровую муку установку, работающую в режиме ИК-облучения, можно использовать для создания имитирующего природного фитоорганического фона леса кедрового бора [7, 8]. Что в первую очередь направлено на создание уютного микроклимата и улучшение химического состава воздуха. Сравнение кедровой и хвойной муки (см. табл. 4) по содержанию микроэлементов и питательных веществ показало ряд достоинств кедровой муки, получаемой из отходов кедровых шишек.

Выводы

1. Сушка кедровой муки позволит получить недорогую витаминную и кормовую добавку с целебными фитонцидами, что даст экономический эффект в пределах 22–25 тыс. рублей.

2. Энергетический КПД экспериментального оборудования при исследовании тепловых балансов устройств вертикального и горизонтального типа показал, что первый вид устройств вертикального типа характеризуется более высоким энергетическим КПД, т.е. он на 27 % выше аналогичного КПД установки горизонтального типа.

3. Анализ способов нагрева показал преимущества ИК-излучения применительно к

культивируемому и дикорастущему материалу. Опыты подтвердили, что проникаемость отходов кедровых шишек при облучении коротковолновым инфракрасным излучением в 2,3 раза выше, но только на глубине 3,5 мм. На глубине выше 5 мм разница между проникаемостью «светлых» и «тёмных» инфракрасных излучателей составляет лишь 1,5 раза.

4. При сушке кедровой муки целесообразно применять частотно-прерывистое управление ИК-нагревателем, при этом энергосбережения в процессах сушки снижаются в 1,3–1,5 раза.

Литература

1. Бех И.А. Перспективы освоения ресурсов кедрового ореха в лесах Сибири // Вестник ТГУ. – 2008. – № 4. – С. 414–421.
2. Арндарчук А.В., Слободской А.П. Электротермическое оборудование направленного излучения. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 80 с.
3. Алтухов И.В. Результаты экспериментальных исследований инфракрасной сушки сахаросодержащих корнеплодов // Вестник КрасГАУ. – 2014. – № 2. – С. 162–167.
4. Епифанов А.Д., Ивонина О.Ю. Переработка отходов кедровых шишек в кедровую муку с применением установки электроинфракрасного облучения // Энергетика, экология, энергосбережение, транспорт. – Тобольск: Изд-во Тобол. фил. НГАВТ, 2004. – Ч. 2. – С. 263–266.
5. Инфракрасные нагреватели [Infrared heaters]Infrared heaters [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.nomacn.by/production/izluchateli-infrokrasue/>.
6. Худоногов А.М., Худоногов И.А., Худоногова Е.Г. Энергосберегающая прерывистая технология обработки оздоровительного чая // Энергетика и энергосбережение: прил. к Вестнику КрасГАУ. – 2005. – № 3. – С. 49–55.
7. Цугленок Г.И. Методология и теория системы исследований энерготехнологических процессов. – Красноярск, 2003. – 193 с.
8. Цугленок Н.В. Энерготехнологическое прогнозирование. – Красноярск, 2004. – 275 с.

Literatura

1. *Beh I.A.* Perspektivy osvoenija resursov kedrovogo oreha v lesah Sibiri // Vestnik TGU. – 2008. – № 4. – S. 414–421.
2. *Arendarchuk A.V., Slobodskoj A.P.* Jelektrotermicheskoe oborudovanie napravlenogo izlucheniya. – M.: Jenergoatomizdat, 1991. – 80 s.
3. *Altuhov I.V.* Rezul'taty jeksperimental'nyh issledovanij infrakrasnoj sushki saharosoderzhashhih korneplodov // Vestnik KrasGAU. – 2014. – № 2. – S. 162–167.
4. *Epifanov A.D., Ivonina O.Ju.* Pererabotka othodov kedrovyyh shishek v kedrovuju muku s primeneniem ustanovki jelektroinfrakrasnogo oblucheniya // Jenergetika, jekologija, jenergosberezhenie, transport. – Tobol'sk: Izd-vo Tobol. fil. NGAVT, 2004. – Ch. 2. – S. 263–266.
5. Infrakrasnye nagrevateli [Infrared heaters]Infrared heaters [Jelektronnyj resurs]. – URL: <http://www.nomaccon.by/production/izluchateli-infrokrasnye/>.
6. *Hudonogov A.M., Hudonogov I.A., Hudonogova E.G.* Jenergosberegajushhaja preryvistaja tehnologija obrabotki ozdorovitel'nogo chaja // Jenergetika i jenergosberezhenie: pril. k Vestniku KrasGAU. – 2005. – № 3. – S. 49–55.
7. *Cuglenok G.I.* Metodologija i teorija sistemy issledovanij jenergotehno-logicheskikh processov. – Krasnojarsk, 2003. – 193 s.
8. *Cuglenok N.V.* Jenergotehnologicheskoe prognozirovanie. – Krasnojarsk, 2004. – 275 s.

