

Некоторые аспекты сушки морских водорослей

Ободов Д.А.

Санкт-Петербургский государственный университет
низкотемпературных и пищевых технологий,
факультет пищевой инженерии и автоматизации,
кафедра техники мясных и молочных производств

Обоснование выбора высокоинтенсивного метода энергоподвода, как инфракрасное излучение, для сушки морских водорослей.

Ключевые слова: морские водоросли, способы, устройства, конвективная сушка, инфракрасное излучение.

Бурые морские водоросли (ламинария) — (промысловое название используемых в пищу таких водорослей, — морская капуста) — древнейшие растения нашей планеты. Они обладают уникальной способностью извлекать из морской воды и концентрировать в своих тканях различные микро- и макроэлементы. Содержание этих веществ, необходимых для нормального функционирования организма, в морских водорослях во много раз выше, чем в наземных растениях [1, 2, 3]. Некоторые же полезные компоненты, обнаруженные в водорослях, в наземных растениях не встречаются вовсе. Ламинария отличается богатым набором минералов и микроэлементов: бор, железо, йод, калий, кальций, кобальт, марганец, медь, мышьяк, фосфор, фтор и др. В 100 г сухой ламинарии содержится 200–400 мг йода, что во много раз превышает его количество в других видах йодосодержащего растительного сырья. Причем йод в ламинарии находится в достаточно редкой легко усвояемой органической форме. И вообще, растений, богатых йодом, очень мало [4, 5, 6].

Морская капуста образует заросли с биомассой в 5–10 и более кг/м². Особенно ценится *Laminaria japonica*, растущая у Азиатского побережья Тихого океана от Охотского моря до берегов Кореи; в Российской Федерации — в Японском море, у Южного побережья Сахалина и Курильских островов [7, 8].

Ламинария с незапамятных времен использовалась в рационе прибрежных жителей. Японская мудрость гласит: «Кто ест ламинарию, тот не знает гиперто-

нии». Сейчас уже научно доказано, что снижение давления происходит благодаря содержащемуся в ламинарии «ламинину». Таким образом, народная мудрость нашла себе научное подтверждение.

Морские водоросли являются ценным сырьём для получения различных продуктов: консервов с овощными добавками, агара, ламинарина, маннита, порошков и др, используемых в пищевой промышленности, медицине, в химической, фармацевтической, текстильной и других отраслях [9].

Сушку морских водорослей на водорослевых комбинатах осуществляют на сушилках различных типов и конструкций: туннельных, распылительных, барабанных и др. Они имеют ряд существенных недостатков: малую производительность, значительные металло- и энергоёмкость, длительное время сушки (до 10 и более часов), сложность обслуживания, ограничивающих коэффициент их использования.

Необходимо от традиционных способов сушки, заложенных в существующих машинах, переходить к проектированию и разработке установок с прогрессивной технологией сушки во взвешенно-закрученных потоках теплоносителя [1], кипящих, псевдооживленных слоях.

Сушка — один из самых энергоёмких процессов, поэтому в области техники сушки экономия энергетических ресурсов — проблема актуальная. Создание высокоэффективных и экономичных сушильных аппаратов и установок позволит значительно снизить энергоёмкость сушки [10, 11, 12].

Сушка пищевых продуктов, в том числе и морской капусты, является сложным не только теплофизическим, но и технологическим процессом, от которого во многом зависит качество готовой продукции. Конечной целью сушки является получение продукта с наилучшими свойствами, а также пригодным как для хранения, так и для транспортировки.

Обоснованный выбор рациональных режимов сушки морепродуктов базируется на закономерностях внутреннего и внешнего тепло-массопереноса, на учении о формах связи влаги с материалом, на физико-химических, оптических и других свойствах продуктов, на некоторых разделах технологии их обработки [12, 13].

Закономерности переноса энергии и массы во влажных морепродуктах в процессе их обезвоживания являются очень сложными и ещё недостаточно изученными. Также недостаточно работ, посвящённых разработке прогрессивных технологических режимов сушки при новых физических методах энергоподвода, недостаточно сведений о кинетике и динамике процесса сушки морепродуктов при та-

ких высокоинтенсивных методах энергоподвода, как инфракрасное излучение [14, 15, 16, 17, 18].

Сушку влажных материалов при передаче тепла от нагретых поверхностей лучистой энергией называют радиационной, или сушкой инфракрасными лучами. Основное достоинство радиационной сушки по сравнению с конвективной — возможность получения больших тепловых потоков. Например, при температуре излучения 600°C тепловой поток составляет $22,6 \text{ Вт/м}^2$, в то время как при температуре 600°C и скорости $\sim 2 \text{ м/с}$ плотность теплового потока составляет не более $8,5 \text{ Вт/м}^2$ [19]. Большой тепловой поток вызывает возникновение больших температурных градиентов в материале, что не всегда допустимо по его свойствам. Поэтому радиационную сушку используют в основном для тонких материалов. Такими и являются ламинарии.

Область инфракрасного излучения охватывает длины волн от $0,8 \text{ мкм}$ до $0,4 \text{ мм}$. Инфракрасные лучи подчиняются законам излучения тел [17]. Интенсивность излучения зависит от температуры и длины волны. С повышением температуры максимум излучения смещается в сторону более коротких волн.

Высушиваемые влажные материалы представляют собой серые тела. При падении лучистой энергии на тело часть её поглощается, а некоторая часть проходит сквозь тело.

Экспериментально установлено [20, 21], что инфракрасные лучи проникают в глубь материала, причём глубина проникновения уменьшается с увеличением длины волны (при понижении температуры излучения). Для влажных материалов проникаемость инфракрасных лучей мала. Прохождение лучей на некоторую глубину внутрь тела доказывается аномальным распределением температуры внутри него. При нагреве или сушке капиллярно-пористых тел, каковыми и являются морепродукты растительного происхождения, температура максимальная не на поверхности, а на некоторой глубине [17]. Начиная от поверхности, температура сначала повышается, достигает максимального значения на небольшой глубине, а затем снижается.

Обоснование различных причин, вызывающих наблюдаемое на опыте аномальное распределение температуры по толщине слоя материала при ИК-облучении, изложено в работах А.В. Лыкова [21], П.Д. Лебедева [20], А.С. Гинзбурга [22], И.А. Рогова [12,18], С.Г. Ильясова и В.В. Красникова [17] и др.

Это явление объясняют следующим комплексом причин:

- а) поглощением проникающего ИК-излучения в материал на некоторую глубину и обращением его там в теплоту;
- б) потерей энергии (излучением, конвекцией, теплопроводностью) открытой поверхностью в окружающую среду;
- в) явлением теплового скольжения — циркуляцией воздуха в порах под действием температурного градиента;
- г) явлением молекулярного течения — эффузией газа в микрокапиллярах по направлению температурного градиента;
- д) затратами тепла на парообразование при испарении влаги в поверхностном слое.

Задачи теплопроводности с учетом поглощения излучения в некоторой зоне материала были поставлены многими исследователями [20, 21, 22, 23, 24]. В этом случае в уравнение теплопроводности вводится дополнительный член, характеризующий внутренние источники тепла за счёт поглощённой энергии ИК-излучения.

Краевую задачу теплопроводности для одномерной симметричной задачи с учётом проникновения инфракрасного излучения в материал на некоторую глубину можно записать в следующем виде [17, 24]:

$$\frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + w(x, \tau); \quad (0 < x < R, \tau > 0); \quad (1)$$

$$t(x, 0) = f(x); \quad (2)$$

$$-\lambda \frac{\partial t(R, \tau)}{\partial x} + q(\tau) = 0; \quad (3)$$

$$\frac{\partial t(0, \tau)}{\partial x} = 0, \quad (4)$$

где (1) — уравнение теплопроводности; (2) — начальное условие (распределение температуры в начальный момент процесса); (3) — граничное условие второго рода, описывающее поток теплоты на поверхности тела; (4) — условие симметрии.

Здесь введены следующие обозначения: x — текущая координата; τ — время; a — коэффициент температуропроводности; $w(x, \tau)$ — функция источников тепла; λ — коэффициент теплопроводности; $q(\tau)$ — суммарная плотность теплового потока на границе (поверхности) материала.

Решение задачи (1)–(4) может быть найдено известными методами [24, 25], если известен вид функций $w(x, \tau)$ и $q(\tau)$, зависящих от теплофизических и термо-

радиационных характеристик материала, генератора излучения, среды и являющихся функциями времени и координаты.

Так как морепродукты растительного происхождения являются влажными капиллярно-пористыми телами, то для более адекватного описания процесса их сушки необходимо применить систему дифференциальных уравнений совместного тепло- и массопереноса, разработанную акад. А.В. Лыковым и его учениками [18, 21, 26], с учетом способа энергоподвода и взаимодействия с окружающей средой.

Список литературы

1. Погонец В.И. Разработка сушильной техники со взвешенно-закрученными потоками для морепродуктов. //Автореф. дис. Доктора техн. наук. — М. 2004. — 43 с.
2. Пронина О.А. Сырьевые ресурсы и промысел водорослей Белого моря. // "Рыбное хозяйство", 2002. N 4. — С. 45–47.
3. Королёва Т.Н., Вялых А.Э. Перспективные для промышленного использования камчатские ламинариевые водоросли.// "Рыбное хозяйство", 2002.N 6. — С. 45–47.
4. Цапко А. С. Механизация добычи и первичная обработка морских водорослей. — М.: Пищевая промышленность, 1968. — 160 с.
5. Трухин Н. В. Современная технология обработки морских водорослей. //Серия ЦНИИ информации и технико-экономических исследований Министерства рыбного хозяйства СССР, 1982, вып. 2.
6. Кизеветтер И. В., Грюнер В.С., Евтушенко В.А. Переработка морских водорослей и других промысловых водных растений. — М.: Пищевая промышленность, 1967. — 416 с.
7. Кизеветтер И. В., Суховеева М.В., Шмелькова Л. П. Промысловые морские водоросли и травы дальневосточных морей. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. — 113 с.
8. Кизеветтер И.В. Промысел и обработка морских растений в Приморье. — Владивосток: Примиздат,1960. — 122 с.
9. Явчуновский В.Я. Микроволновая и комбинированная сушка: физические основы, технологии и оборудование. — Саратов: Издательство Саратовского университета, 1999. — 213 с.

10. Пенкин А.А. Разработка устройства инфракрасного излучения для термической обработки зерна и локального обогрева. //Автореф. дисс. канд. техн. наук — М. 2004. — 25 с.
11. ИК-сушка — перспектива развития сушильной отрасли. // Клямкин Н.К. Техника и оборудование для села, 1999. — с.20–21.
12. Рогов И.А. Электрофизические методы обработки пищевых продуктов. — М.: Агропромиздат, 1988. — с 272.
13. Мустяца В.Т. Тепло- и массообмен во влажных материалах в электрических полях высокой частоты. — Кишинёв: " Штиинца", 1985. — 62 с.
14. Костеров М.А., Лапицкий В.И., Михайлов Г.М. Исследование процесса тепло- и массопереноса при сушке тонкодисперсных материалов. //Сб. "Реология в процессах и аппаратах химических производств", Волгоград, 1972. — с. 69–73.
15. Розанов С.В. Исследование процессов массо- и теплопереноса в различных средах под воздействием микроволнового излучения и разработка энергосберегающих микроволновых технологий и установок промышленного применения.// Автореф. дис. канд. техн. наук. — СПб, 2003. — 22 с.
16. Островский Л.В. Инфракрасный нагрев в общественном питании. — М. : Экономика, 1978. — 104 с.
17. Ильясов С.Г., Красников В.В. Физические основы инфракрасного облучения пищевых продуктов — М.: Пищевая промышленность, 1978. — 360 с.
18. Рогов И.А., Некрутман С.В. Сверхвысокочастотный и инфракрасный нагрев пищевых продуктов. — М.: Пищевая промышленность, 1976. — 212 с.
19. Лыков М.В. Сушка в химической промышленности. — М.: Химия, 1970. — 432 с.
20. Лебедев П.Д. Сушка инфракрасными лучами. — М.: Госэнергоиздат, 1955. — 232 с.
21. Лыков А.В. Теория сушки. — М.: Энергия, — 472 с.
22. Гинзбург А.С. Инфракрасная техника в пищевой промышленности. — М.: Пищевая промышленность, 1966. — 407 с.
23. Гинзбург А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. — М.: Пищевая промышленность, 1973, — 528 с.
24. Лыков А.В. Теория теплопроводности. — М.: Гостехиздат, 1967. — 599с.
25. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. — М.: Наука, 1964. — 488с.

26. Лыков А.В., Михайлов Ю.А. Теория тепло- и массопереноса. — М.: Госэнергоиздат, 1963. — 536 с.

Some aspects of drying sea algae

Obodov L.A.

Saint-Petersburg State University of Refrigeration
and Food Engineering

The paper presents substantiation of selection of highly intensive method to supply energy (as infrared one) for drying sea algae.

Keywords: sea algae, methods, devices, convection drying, infrared radiation.