

**Изучение теплофизических характеристик
светлого солода**

Пеленко В.В., Демидов С.Ф., Тамбулатова Е.В., Соколова Е.А.

Sokol-26@yandex.ru

Санкт-Петербургский национальный исследовательский
университет информационных технологий, механики и оптики

*Получена зависимость теплопроводности и теплоемкости светлого
солода от температуры.*

Ключевые слова: теплопроводность, теплоемкость, солод.

**Studying heatphysical characteristics
of light malt**

Pelenko V.V., Demidov S.F., Tambulatova E.V., Sokolova E.A.

Sokol-26@yandex.ru

Saint-Petersburg investigative university of informational
technologies, mechanics and optics

*The dependence of thermal conductivity and heat capacity of light malt on the
temperature.*

Keywords: thermal conductivity, heat capacity, light malt.

Процессы обжарки солода имеют место при производстве специальных сортов солода и соответственно играют большую роль при производстве пиве. Обжарке может подвергаться как светлый, так и темный солод.

Уравнение сохранения массы при обжарке светлого солода имеет вид [1]:

$$\frac{\partial U_T}{\partial \tau} + V_x \frac{\partial U_T}{\partial x} + V_z \frac{\partial U_T}{\partial z} = a_m^T \frac{\partial^2 U_T}{\partial z^2} + a_m^T \delta_T \frac{\partial^2 t_T}{\partial z^2}; \quad (1)$$

где: $U_T = \frac{G_{в.л}}{G_c}$ - удельное влагосодержание теплоносителя; V_x -

продольная скорость обтекания солода, $\frac{м}{с}$; x - продольная координата, м; z

- поперечная координата, нормальная к поверхности, м; V_z - компонента скорости, нормальная к поверхности, $\frac{м}{с}$; a_m^T - коэффициент массопереноса

(диффузии), $\frac{M^2}{c}$; δ_T -термоградиентный коэффициент, K^{-1} ; t_T – температура теплоносителя, К; $G_{вл}$, G_c – масса влаги и сухого воздуха, кг.

Уравнение сохранения энергии при обжарке светлого солода как плоского двумерного объекта в условиях инфракрасного радиационного воздействия записывается в классическом виде [2,3]:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \right) + \frac{\varepsilon r}{c} \frac{\partial U}{\partial \tau} + \frac{q}{c\rho}, \quad (2)$$

где: ρ –плотность солода, $кг/м^3$; c –удельная теплоемкость солода, $Дж/кг\cdot K$; a –коэффициент температуропроводности, $м^2/с$; t – температурасолода, К; r – коэффициент фазового превращения; g - удельная теплота испарения воды, $Дж/кг$; q – объемная мощность инфракрасного (ИК) излучения, $Вт/м^3$; U - влагосодержание солода, $кг/кг$.

Коэффициент температуропроводности при этом имеет вид:

$$a = \frac{\lambda}{\rho c}, \quad (4)$$

где: λ – коэффициент теплопроводности, $Вт/(м\cdot K)$.

Таким образом, для расчета параметров процессов тепломассопереноса при обжарке светлого солода требуется знание таких теплофизических характеристик, как плотность, теплоемкость и теплопроводность.

Проведя обзор литературных источников, следует сказать, что сведений о теплофизических свойствах солода имеется крайне мало, а имеющиеся касаются конкретного вида и могут быть использованы лишь для оценочных расчетов (таблица 1).

Таблица 1

Теплофизические характеристики ячменного солода ($W^c=3,1\%$, $\rho_n = 1005$ $кг/м^3$) [2, с. 255]

T, K	c, Дж/(кг·K)	λ , Вт/(м·K)	$a \cdot 10^8$, $м^2/с$
303	1400	0,210	14,6
323	1604	0,248	15,4
348	1754	0,288	16,4

Измерение теплофизических характеристик светлого ячменного солода «Пилсен» 2 RS влажностью 4-4,5% проводилось в межфакультетской лаборатории «Инновационные технологии» в Санкт-Петербургском национальном исследовательском университете информационных технологий, механики и оптики.

Использовался универсальный измерительный стенд для изучения тепловлажностных характеристик практически любых групп влагосодержащих материалов, включая водные растворы.

Установка в своем составе включает морозильную камеру производства фирмы «Крион», лабораторный сушильный шкаф.

Основными узлами экспериментального стенда являются теплоизмерительная ячейка (калориметр), теплофизический контроллер (ТФК), три массивных металлических блока и пассивный термостат с термометром.

В теплоизоляционной ячейке размещаются датчики, тепломерный узел и сменный стакан с образцом. Она обеспечивает заданные режимы замораживания и размораживания исследуемых образцов.

Функцию пассивного термостата выполняют обычный бытовой термостат, заполненный дистиллированной водой при комнатной температуре. В нем размещена стеклянная пробирка, в которую помещаются «холодные» спаи термостолбиков.

Для контроля комнатной температуры используется цифровой термометр с термисторным датчиком с инструментальной погрешностью $0,1^{\circ}\text{C}$. Открытая верхняя поверхность ячейки и рабочие концы термостолбиков защищены от влажных конвективных потоков воздуха тонкостенным прозрачным колпаком.

Образцом для исследования служил светлый ячменный солод (насыпь). По результатам данного эксперимента выведены две зависимости, которые представлены на рисунках 1 и 2 соответственно.

Рис. 1. Зависимость теплопроводности солода от температуры

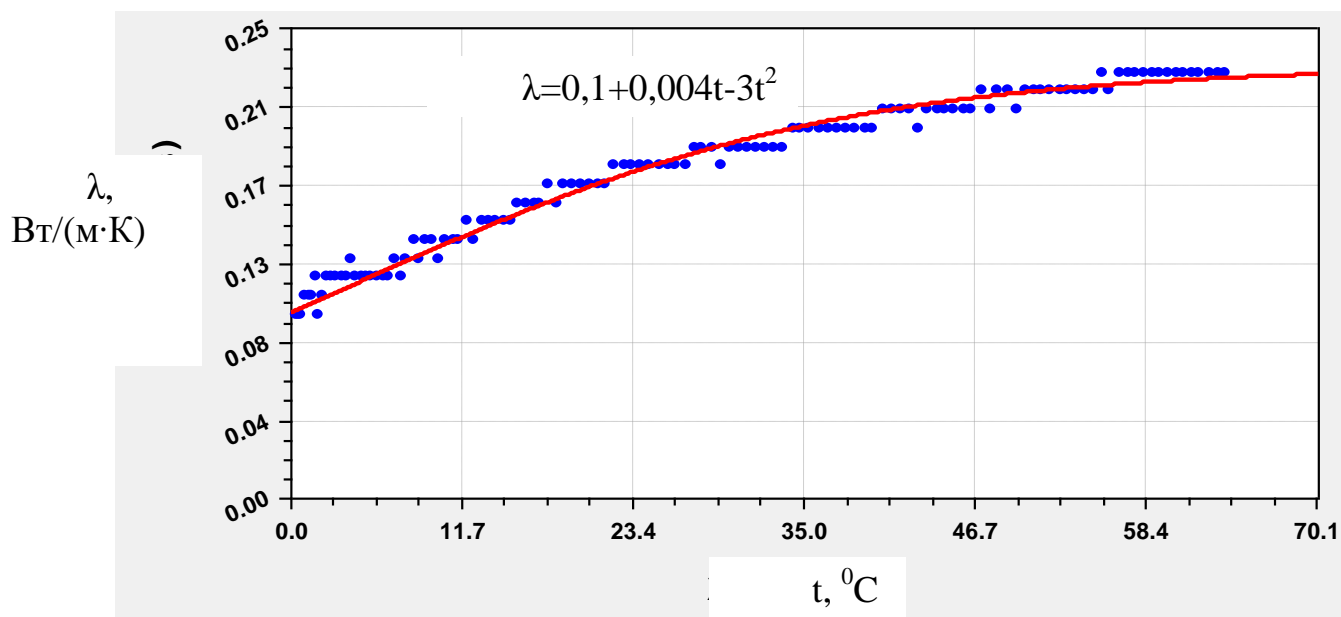
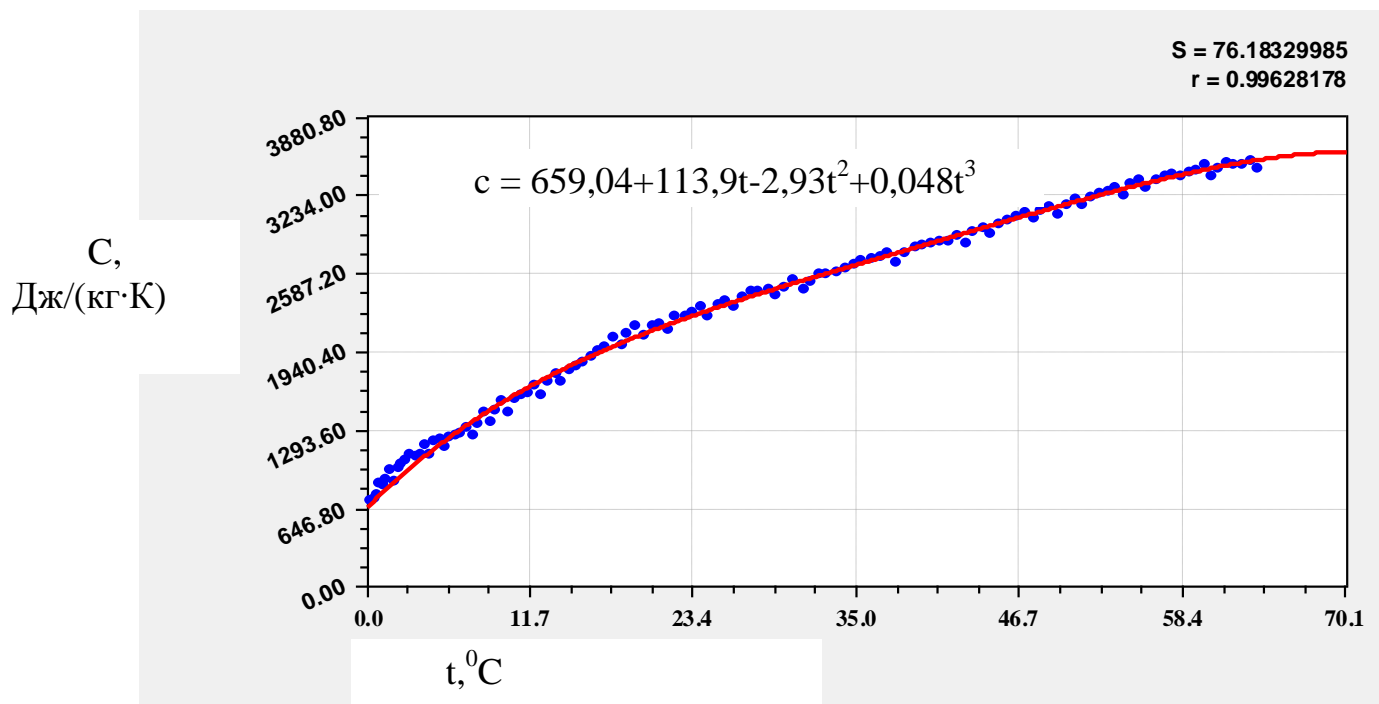


Рис. 2. Зависимость теплоемкости солода от температуры



Данные зависимости используются для расчета процессов сушки и обжарки солода.

Список литературы:

1. Арапов В.М. Моделирование конвективной сушки дисперсных продуктов на основе законов химической кинетики/Воронеж. гос. технол. акад. Воронеж, 2002. – 200 с.
2. Гинзбург А.С. Инфракрасная техника в пищевой промышленности. – М.: Пищевая промышленность, 1966. – 407 с.
3. Гинзбург А.С., Громов М.А. Теплофизические характеристики пищевых продуктов. М.: Изд-во «Пищевая промышленность», 1980. 288 с.
4. Лыков А.В. Тепломассообмен: /Справочник/, 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Энергия, 1978.- 480 с.
5. Тамбулатова Е.В. Комплексное исследование термовлажностных свойств влагосодержащих материалов при температурах $(-60\dots 80)^{\circ}\text{C}$. Дис. на соиск. уч. ст. к.т.н. СПб, 2010. 154 с.