

УДК 631:362.7

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ГРЕЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ СУШКЕ СВЕКЛОВИЧНОГО ЖОМА

**Артемьев В.В., магистрант,**

тел. +79279842587, sergeysut@mail.ru

**Агеев П.С., кандидат технических наук, старший преподаватель,**

тел. +79279842587, sergeysut@mail.ru

**Сутягин С.А., кандидат технических наук, доцент,**

тел. +79279842587, sergeysut@mail.ru

**Павлушин А.А., доктор технических наук, профессор,**

тел. +79050359200, andrejpavlu@yandex.ru

**Курдюмов В.И., доктор технических наук, профессор,**

тел. +79279842587, sergeysut@mail.ru

**ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ**

**Ключевые слова:** *свекловичный жом, контактная сушка температура греющей поверхности, сравнительный анализ, качество сушки свекловичного жома.*

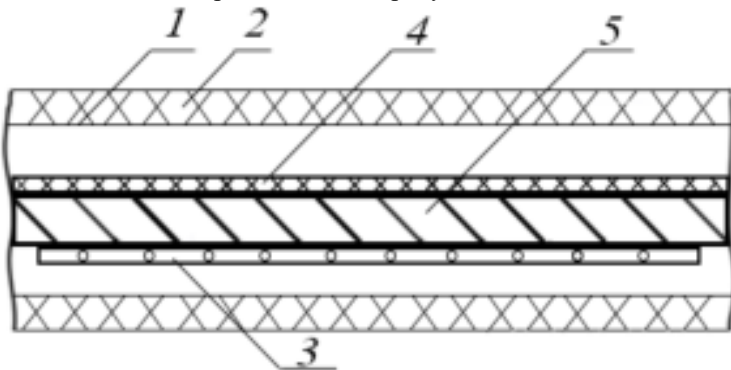
*В статье описана конструктивно-технологическая модель теплообменного аппарата предложенной установки для сушки свекловичного жома. Также получено уравнение для определения температуры греющей поверхности в разработанной установке.*

**Введение.** При производстве сахара с 1 тонны сахарной свёклы на заводах получают свыше 500 кг свекловичного жома. В настоящее время сырой свекловичный жом на корм животным практически не используют. Это связано с тем, что свекловичный жом имеет высокую влажность и при хранении быстро портится [1, 2, 9]. Также, из-за значительного содержания влаги затраты на транспортировку свекловичного жома возрастают и как следствие в 2,5 раза повышается его потребительская стоимость. Поэтому свекловичный жом чаще всего сушат до влажности 13...14 % и затем реализуют готовый продукт. Сушка свекловичного жома является энергозатратным процессом [2, 3].

Поэтому разработка технологий и технических средств, позволяющих снизить энергозатраты на сушку свекловичного жома является актуальной и важной научно-технической задачей.

**Материалы и методы исследований.** Для снижения энергозатрат на сушку свекловичного жома нами разработана установка ленточного типа, в которой теплопередача происходит от электроконтактного теплообменника [3 - 8].

Принципиальная конструктивно-технологическая модель теплообменного аппарата предложенной установки для сушки свекловичного жома представлена на рисунке 1.

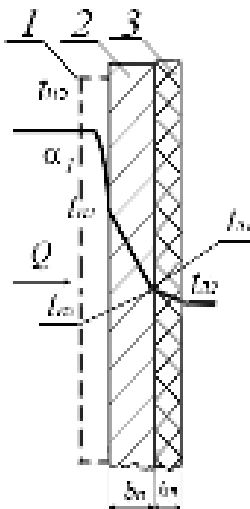


*1 – рабочая камера; 2 – теплоизоляция рабочей камеры; 3 – нагревательный элемент; 4 – лента транспортера; 5 – теплообменная пластина*

**Рис. 1 – Конструктивно-технологическая модель теплообменного аппарата предложенной установки для сушки свекловичного жома**

Нагревательный элемент генерирует тепловой поток  $Q$ , Дж, и передаёт его через теплообменную пластину длиной  $l_{п}$ , м, толщиной  $b_{п}$ , м, с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_{п}$ , Дж/(м<sup>2</sup>·°С) и ленту транспортера длиной  $l_{л}$ , м, толщиной  $b_{л}$ , м, с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_{л}$ , Дж/(м<sup>2</sup>·°С). Обозначим: температуру нагревательного элемента -  $t_{нэ}$ , °С; температуру нижней поверхности теплообменной пластины -  $t_{п1}$ , °С; температура верхней поверхности теплообменной пластины, соприкасающейся с нижней поверхностью

ленты транспортёра -  $t_{п2}$ , °С; температуру нижней поверхности ленты транспортёра -  $t_{п1}$ , °С; температуру верхней поверхности ленты транспортёра, на которой расположен высушиваемый материал -  $t_{л2}$ , °С.



1 – нагревательный элемент; 2 - теплообменная пластина; 3 - лента транспортёра

**Рис. 2 – Схема распределения теплоты в слоях теплообменного аппарата**

**Результаты исследований и их обсуждение.** Тогда плотность теплового потока проходящего через непрерывно соприкасающиеся поверхности, можно определить по формулам:

$$q_1 = \alpha_1(t_{нэ} - t_{п1}), \quad (1)$$

$$q_2 = \lambda_{п}l_{п}(t_{п1} - t_{п2})/b_{п}, \quad (2)$$

$$q_3 = \lambda_{л}l_{л}(t_{п1} - t_{л2})/b_{л}, \quad (3)$$

где:  $q_1$  – плотность теплового потока, передаваемого от нагревательного элемента теплообменной пластине конвективной составляющей, Дж/м<sup>2</sup>;  $\alpha_1$  – коэффициент характеризующий конвективную составляющую теплопередачи, Дж/(м<sup>2</sup>·°С);  $q_2$  – плотность теплового потока, передаваемого нагревательным элементом через теплообменную пластину контактной теплопередачей, Дж/м<sup>2</sup>;  $q_3$  – плотность теплового потока передаваемого контактной

теплопередачей от теплообменной пластины через ленту транспортёра, Дж/м<sup>2</sup>.

Выразим из уравнений градиент температуры:

$$t_{нэ} - t_{п1} = q_1/\alpha_1, \quad (4)$$

$$t_{п1} - t_{п2} = q_2 b_{п}/\lambda_{п} l_{п}, \quad (5)$$

$$t_{п1} - t_{л2} = q_3 b_{л}/\lambda_{л} l_{л}, \quad (6)$$

В уравнениях (4)...(6) заменим теплопроводность на термическое сопротивление каждого материала и получим:

$$t_{нэ} - t_{п1} = q_1 R_{т1}, \quad (7)$$

$$t_{п1} - t_{п2} = q_2 R_{т2}, \quad (8)$$

$$t_{п1} - t_{л2} = q_3 R_{т3}, \quad (9)$$

Сложим между собой правые и левые части уравнений. При условии, что температура соприкасающихся поверхностей теплообменной пластины и ленты транспортёра будут близки по значению, а также с учетом того, что плотности теплового потока равны, после преобразования получим:

$$t_{л2} = (R_{т1} + R_{т2} + R_{т3}) t_{нэ}/R_{т1}, \quad (10)$$

**Заключение.** Таким образом, зная исходную влажность высушиваемого материала, конструктивные размеры теплообменной пластины и ленты транспортёра, термическое сопротивление материала из которых выполнены теплообменная пластина и лента транспортёра, можно подобрать тип и мощность нагревательного элемента, который позволит нагреть верхнюю поверхность ленты транспортёра до заданного значения и равномерно нагреть свекловичный жом.

### Библиографический список:

1. Pavlushin, A. Research of a machine with a belt conveyor for drying grain / A. Pavlushin, S. Sutyagin, G. Karpenko, V. Artemiev // E3S Web of Conferences. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2020). 2020. P. 01071.
2. Кухарев, О. Н. Анализ способов сушки сельскохозяйственных культур / О. Н. Кухарев, И. Н. Семов, Н. К. Тимргазин // Образование, наука, практика: инновационный аспект: Сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной Дню российской науки, Пенза, 05–06 февраля 2015 года / ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная сельскохозяйственная академия». –

Пенза: Пензенская государственная сельскохозяйственная академия, 2015. – С. 9-11.

3. Патент 198590 Российской Федерации, МПК А23В 9/00. Устройство для сушки свекловичного жома / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, С.А. Сутягин, В.В. Артемьев; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина». - № 2020109629; заявл. 04.03.2020; опубл. 17.07.2020.

4. Патент 198591 Российской Федерации, МПК А23В 7/00, А23В 7/02, F26В 11/04. Устройство для сушки свекловичного жома / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, С.А. Сутягин [и др.]; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина». - № 2020109627; заявл. 04.03.2020; опубл. 17.07.2020.

5. Патент 198806 Российской Федерации, МПК А23N 17/00, F26В 17/28. Устройство для сушки свекловичного жома / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, С.А. Сутягин [и др.]; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина». - № 2020109632; заявл. 04.03.2020; опубл. 29.07.2020.

6. Патент 2728598 Российской Федерации, МПК А23В 9/08, F26В 17/02. Устройство для сушки свекловичного жома / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, С.А. Сутягин [и др.]; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина». - № 2020109157; заявл. 28.02.2020; опубл. 30.07.2020.

7. Патент 199358 Российской Федерации, МПК А23В 9/08. Устройство для сушки свекловичного жома / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, С.А. Сутягин [и др.]; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный аграрный

университет имени П.А. Столыпина». - № 2020109633; заявл. 04.03.2020; опубл. 28.08.2020.

8. Патент 2734949 Российской Федерации, МПК А23В 7/00, F26В 11/00. Устройство для сушки свекловичного жома / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, С.А. Сутягин, В.В. Артемьев; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина». - № 2020108723; заявл. 27.02.2020; опубл. 26.10.2020.

9. Sutyagin, S. Features of heat treatment of grain in dryers of the contact type / S. Sutyagin, A. Pavlushin, P. Ageyev // E3S Web of Conferences. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2019). 2019. P. 00045.

#### **DETERMINATION OF THE TEMPERATURE OF THE HEATING SURFACE DURING DRYING BEET PULP**

**Artemiev V.V., Ageev P.S., Sutyagin S.A., Pavlushin A.A., Kurdyumov V.I.**

***Key words:** sugar beet pulp, contact drying heating surface temperature, comparative analysis, drying quality of sugar beet pulp.*

*The article describes the structural and technological model of the heat exchanger of the proposed plant for drying sugar beet pulp. An equation was also obtained for determining the temperature of the heating surface in the developed installation.*