

УДК 664.123.6

Профессор Ю.И. Шишацкий, аспирант Е.И. Голубятников
(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра промышленной энергетики,
тел. (473) 255-37-51

Кинетика сушки свекловичного жома

Рассмотрено влияние режимных параметров на кинетику сушки свекловичного жома как пектинового сырья. Обоснована сущность активных гидродинамических режимов.

Mathematical notation extraction process of extractives from the layer of fixed spherical particles. The essence of active hydrodynamic modes is proved.

Ключевые слова: пектин, свекловичный жом, сушка, режимные параметры.

Анализ состояния и тенденций развития современных технологий производства пектиновых веществ показал, что основное внимание уделяется разработке технологических и технических приёмов, обеспечивающих экологическую чистоту и безопасность процессов при безусловной энергетической целесообразности и высоком качестве конечного продукта [3].

Качество конечного продукта – пектина – зависит не только от физико-химических свойств пектинового сырья, но и в значительной степени от способов его подготовки [2].

Наиболее прогрессивным и распространённым способом консервирования свекловичного жома как пектинового сырья является сушка. Определяющим критерием в выборе конструкций сушильного аппарата является возможность регулирования температуры таким образом, чтобы ткань свёклы не нагревалась выше 80–85 °С и поверхность частиц не подгорала. При более высокой температуре происходит термическая деградация пектиновых веществ, содержание которых снижается до 30 %. Конечная влажность жома должна быть не более 14–16 % (на сухое вещество). Излишне низкая влажность увеличивает тепловые затраты и длительность процесса. Более высокая конечная влажность способствует протеканию биохимических процессов при хранении, что приводит к порче сырья [2].

Исследование процесса сушки свекловичного жома проводилось на установке (рис. 1), обеспечивающей интенсивное

высушивание жома в активных гидродинамических режимах в выбранном диапазоне изменения режимных параметров.

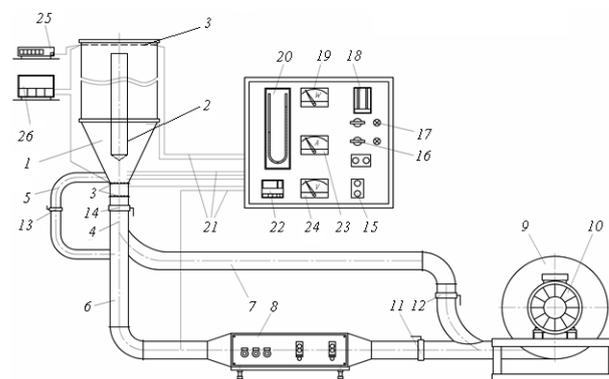


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – коническо-цилиндрическая сушильная камера; 2 – нагреватель; 3 – газораспределительная решетка; 4, 5 – патрубки для осевого и тангенциального ввода теплоносителя; 6, 7 – воздуховоды горячего и холодного теплоносителя; 8 – электрокалорифер; 9 – вентилятор; 10 – электродвигатель; 11, 12, 13, 14 – заслонки; 15 – электромагнитный пускатель; 16 – пакетный переключатель; 17 – сигнальная лампа; 18 – психрометр; 19 – ваттметр; 20 – U-образный манометр; 21 – терморезисторы; 22 – измеритель – регулятор ОВЕН ТРМ 138; 23 – амперметр; 24 – вольтметр; 25 – гигрометр; 26 – микроманометр ЛТА-4

Слой жома оживляется в коническо-цилиндрической камере 1, имеющей следующие размеры: внутренний диаметр нижней части конуса – 100 мм, внутренний диаметр цилиндрической части – 300 мм, высота конической части – 500 мм,

цилиндрической – 300 мм. Воздух подавался в камеру в осевом и тангенциальном направлениях поочередно или совместно. До проведения опытов установку выводили на заданный режим путём нагрева рабочей камеры и нагревателя до необходимой температуры. Из большого количества параметров, влияющих на процесс, выбрали для исследования важнейшие: температуру и скорость теплоносителя, способ его ввода в рабочую камеру, а также удельную нагрузку на решётку.

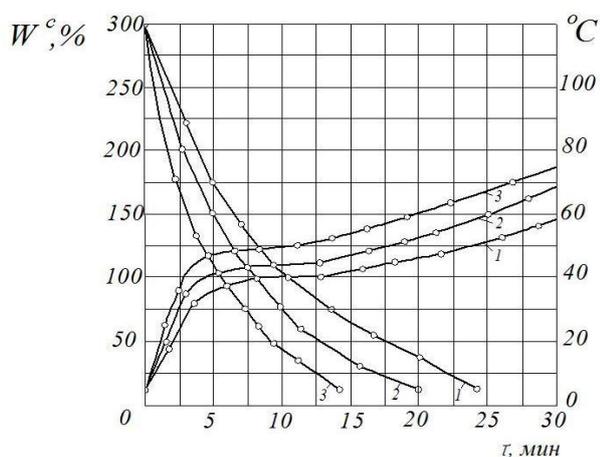


Рис. 2. Кривые сушки и нагрева свекловичного жома в зависимости от температуры t , °C, при осевой подаче теплоносителя: 1 – 80; 2 – 100; 3 – 105; $v_{in} = 3 \text{ м/с}$; $q = 26 \text{ кВт/м}^2$.

Из рис. 2 видно, что повышение начальной температуры сушильного агента ускоряет процесс сушки, при этом температура материала возрастает. Так, до конечной влажности $W = 12\%$ жом высушивается при температуре $t = 80 \text{ °C}$ за 26 мин, при $t = 100 \text{ °C}$ за 22,5 мин, при $t = 105 \text{ °C}$ за 15 мин. Совокупный подвод теплоносителя (осевой и тангенциальный) сокращает продолжительность в среднем на 2–3 мин.

Характер изменения температуры частиц жома позволяет заключить, что в период поверхностного испарения влаги жом прогревается до $t = \text{const}$ быстро (не более 5 мин), что объясняется гидродинамической и тепловой обстановкой в сушильной камере, а также геометрией частиц. При выбранных режимах в период внутреннего испарения температура частиц жома оставалась существенно ниже предельно допустимой. Это даёт основание считать режимные параметры рациональными.

Заметное влияние на интенсивность процесса сушки оказывает осевая v_{in} и тангенциальная v_{δ} скорости теплоносителя. Так, при $v_{in} = 4 \text{ м/с}$ продолжительность сушки до $W = 14\%$ составила 15 мин, а при $v_{in} = 8 \text{ м/с}$ – 8 мин, то есть уменьшилась в 1,9 раза. Совместный ввод теплоносителя (осевой и тангенциальный) заметно ускоряет процесс сушки. Например, при $v_{in} = 4 \text{ м/с}$ и $v_{\delta} = 3 \text{ м/с}$ продолжительность сушки уменьшилась на 2 мин. Прочие равные условия опыта: $t = 105 \text{ °C}$; $q = 30 \text{ кВт/м}^2$.

Как и следовало ожидать, увеличение удельной нагрузки на газораспределительную решётку q приводит к увеличению продолжительности сушки и уменьшению интенсивности нагрева жома (рис. 3).

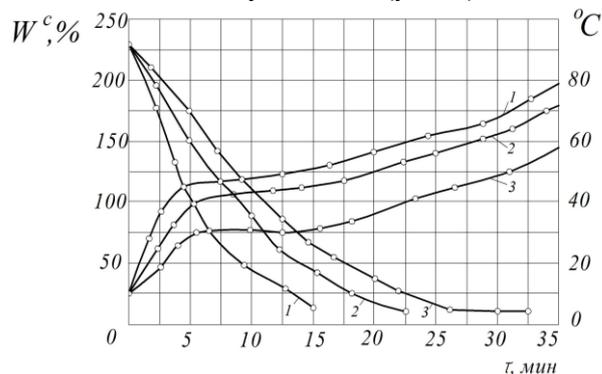


Рис. 3. Кривые сушки и нагрева свекловичного жома в зависимости от удельной нагрузки q , кВт/м², на газораспределительную решётку при осевом и тангенциальном вводе теплоносителя: 1 – 26,5; 2 – 37; 3 – 50; $t = 104 \text{ °C}$; $v = 3,5 \text{ м/с}$.

Очевидно, что увеличение удельной нагрузки влечёт за собой большее насыщение теплоносителя и снижение коэффициента теплообмена.

Равномерная и интенсивная сушка в активных гидродинамических режимах обеспечивается осевой и тангенциальной подачей теплоносителя в сушильную камеру. При этом в передаче теплоты одновременно принимают участие все виды теплообмена – кондуктивный, конвективный и излучение. Количественной характеристикой процесса теплоотдачи от греющих поверхностей сушильной камеры и нагревателя к материалу является суммарный коэффициент теплоотдачи $\alpha = \alpha_{\text{к}} + \alpha_{\text{кв}}$, где $\alpha_{\text{к}}$ учитывает передачу теплоты кондуктивную и

конвекцией, а α_E – передачу теплоты излучением.

Велика вероятность, что каждая частица совершает сложное перемещение и её абсолютная скорость \vec{v}_{aa} будет равна геометрической сумме поступательной $\vec{v}_{ii\dot{n}o}$ и тангенциальной \vec{v}_o скоростей.

Остановимся на более общем случае, когда векторы скоростей расположены не на одной прямой, а под углом к друг другу (рис. 4).

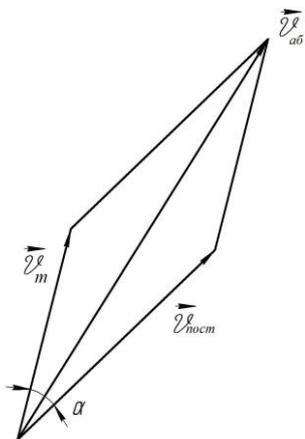


Рис. 4. Параллелограмм скоростей

В соответствии с теоремой о сложении скоростей [1]:

$$\vec{v}_{aa} = \vec{v}_{ii\dot{n}o} + \vec{v}_o.$$

Если угол между векторами $\vec{v}_{ii\dot{n}o}$ и \vec{v}_o равен α , то по модулю

$$v_{aa} = \sqrt{v_{ii\dot{n}o}^2 + v_o^2 + 2v_{ii\dot{n}o}v_o \cos \alpha}.$$

Очевидно, что при совместном осевом и тангенциальном вводе теплоносителя в рабочую камеру частицы жомы перемещаются с большими скоростями. Следовательно, увеличивается коэффициент теплоотдачи, характеризующий интенсивность теплообмена между сушильным агентом и частицами жомы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авдеев, Н.Е. Перспективные типы центробежных и гравитационных сепараторов. Теория и анализ конструкций [Текст] / Н.Е. Авдеев, А.В. Некрасов, С.Б. Резуев, Ю.В. Чернухин. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2005. – 637 с.
2. Данченко, Л.В. Пектин: основные свойства и применение [Текст] / Л.В. Данченко, Г.Г. Фирсов – М.: Дели принт, 2007. – 276 с.
3. Ильина, И.А. Научные основы технологии модифицированных пектинов [Текст] / И.А. Ильина. - Краснодар: «Просвещение – Юг», 2001. – 321 с.