

УДК 664.1:66-96

Иващенко Н.В., Вербицкий Б.И., Буляндра О.Ф., Луцик Ю.П.

СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВЕКЛОВИЧНОГО ЖОМА

Национальный университет пищевых технологий,

Киев, Владимирская 68, 01033

Ivashchenko N.V., Verbitckiy B.I., Bulyandra A.F., Lutsyk Y.P.

STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF BEET PULP

National University of Food Technologies,

Kiev, Vladimirskaia 68, 01033

Аннотация. В данной статье приведены определенные для свекловичного жома объем микропор, интегральные дифференциальные кривые распределения микропор по радиусами, эффективный радиус пор, удельная поверхность. Для определения этих структурных характеристик был использован адсорбционный метод, основанный на обработке изотерм сорбции. Для расчетов структурных характеристик были использованы десорбционные ветви изотерм свекловичного жома, которые более точно соответствует процессу сушки. Принималось, что поры исследуемого материала были полностью заполнены водой и имели цилиндрическую форму. Установлено, что в процессе сушки до стандартной влажности из материала удаляется вся капиллярная влага, а влага полимолекулярной адсорбции удаляется частично.

Ключевые слова: жом, микропоры, поры распределения, удельная поверхность, сушка

Abstract. In this paper we describe the use of the volume of pores, integral and differential curves of micropores distribution by radii, effective radius and value of specific surface are determined in the present paper for a sugar beet pulp.

Adsorption method, based on sorption isotherms processing, were used to determine these structural characteristics. Desorption branch of isotherm sugar beet pulp, which more accurately corresponds to the process of drying, was used for the calculations. The pores were predicted to be completely filled by water and have a spherical shape. It is stated, that all capillary moisture and partially moisture of polymolecular adsorption has been taken away during the process of drying to standard moisture content.

Key words: sugar beet pulp, micropores, pores distribution, specific surface, drying

Вступление.

Поставленная перед нами задача по исследованию низкотемпературных режимов сушки растительных материалов, требовала получить более подробную информацию по механизму внутреннего тепло- и массопереноса в процессе сушки. Объектом исследований был выбран свекловичный жом – побочный продукт сахарного производства. Учитывая большие объемы переработки сахарной свеклы, а также то, что выход сырого жома составляет 80-83% к массе переработанной свеклы, можно отметить, что переработка, хранение и утилизация свекловичного жома представляет собой серьезную проблему.

Обзор литературы.

Вопросы практического использования вторичных сырьевых ресурсов для производства пищевых порошков и продуктов диетического питания широко рассмотрены в работах Института технической теплофизики НАН Украины (работы Ю. Ф. Снежкина, Л. А. Боряка, А. А. Хавина, Н.Н.Сороковой [1-4]). На основе изложенных закономерностей процессов тепломассообмена при сушке рекомендованы теплотехнологии переработки в порошок выжимок из яблок, винограда, citrusовых и свекловичного жома. Изложены математические модели и численные методы расчета тепломассопереноса и фазовых превращений в случае обезвоживания коллоидных капиллярно-пористых тел, а в результате экспериментальных исследований установлены оптимальные

параметры сушильного агента и разработаны ступенчатые режимы обезвоживания, гарантирующие высокую степень сохранности пектиновых и биологически активных веществ.

Однако, механизм внутреннего тепло- и массопереноса в процессе низкотемпературной сушки ($t_{ca}=40...90^{\circ}\text{C}$) стружки свекловичного жома в литературных источниках представлены мало [5].

Входные данные и методы. Исходя из структуры свекловичной ткани, жом относят к связнодисперсным сильноструктурированным продуктам с малой пористостью, которые не растрескиваются при сушке [6].

Первым этапом решения поставленной задачи по исследованию низкотемпературных режимов сушки стало исследование пористой структуры мякоти жома.

Для определения структурных характеристик жома использован метод проф. Луцика П.П. Этот метод пригоден, как для тел с жестким скелетом твердой фазы, так и тел, которые ограничено набухают либо находящихся в состоянии гигроскопического набухания.

По экспериментально полученным изотермами свекловичного жома [7] были определены следующие характеристики: объем микропор, интегральные дифференциальные кривые распределения микропор по радиусами, эффективный радиус пор, удельная поверхность и т.д. При этом принималось, что жом это ограниченно набухающий пористый материал, а микропоры имеют цилиндрическую форму. Для расчета использованы кривые десорбции, соответствующие порам полностью заполненным влагой с менисками жидкости сферической формы. Радиусы микропор определяли по уравнению Томсона – Кельвина. Объем микропор, заполненных влагой, определяли как произведение количества адсорбированной влаги при данном $p/p_0=\varphi$ на молярный объем воды.

Интегральные $F(r)$ функции распределения микропор: $F(r)=U/U_{max}$, где U и U_{max} – равновесное и максимальное (гигроскопическое) влагосодержание жома при данном значении φ и $\varphi = 1$.

Результаты. Обсуждение и анализ.

На рис.1 показаны интегральные кривые $F(r)$ распределения микропор по их размерам при различных температурах жомы $t=25\dots70^\circ\text{C}$. Как видно из рисунка, объем микропор резко возрастает, начиная от минимальных значений радиусов $r_0 \approx 0,7 \cdot 10^{-9}\text{ м}$ до $r \approx 6 \cdot 10^{-9}\text{ м}$. Дальнейшее интегральное распределение меняется не существенно и приближается к линейному распределению при росте значений r .

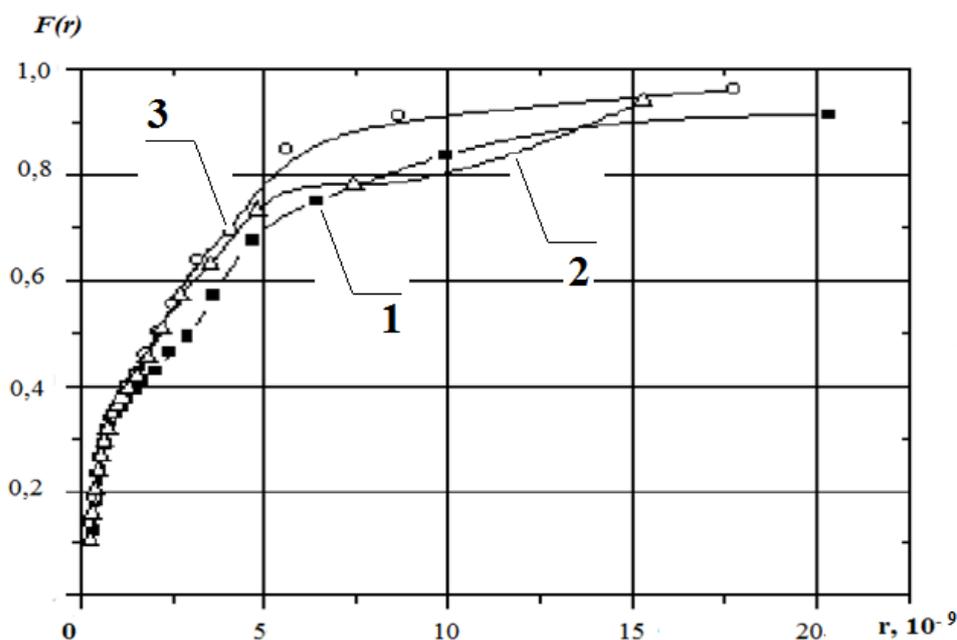


Рис.1. Интегральная кривая $F(r)$ распределения микропор по радиусам для свекловичного жома при температуре t : 1–25; 2–50; 3–70 °C

Дифференциальную функцию $f(r)$ распределения микропор находили как производную от интегрального распределения $f(r)=dF(r)/dr$. Вычисления проводили методом дискретного дифференцирования в среде OriginPro. Дифференциальные кривые $f(r)$ распределения микропор по их радиусами в свекольном жоме показаны на рис. 2.

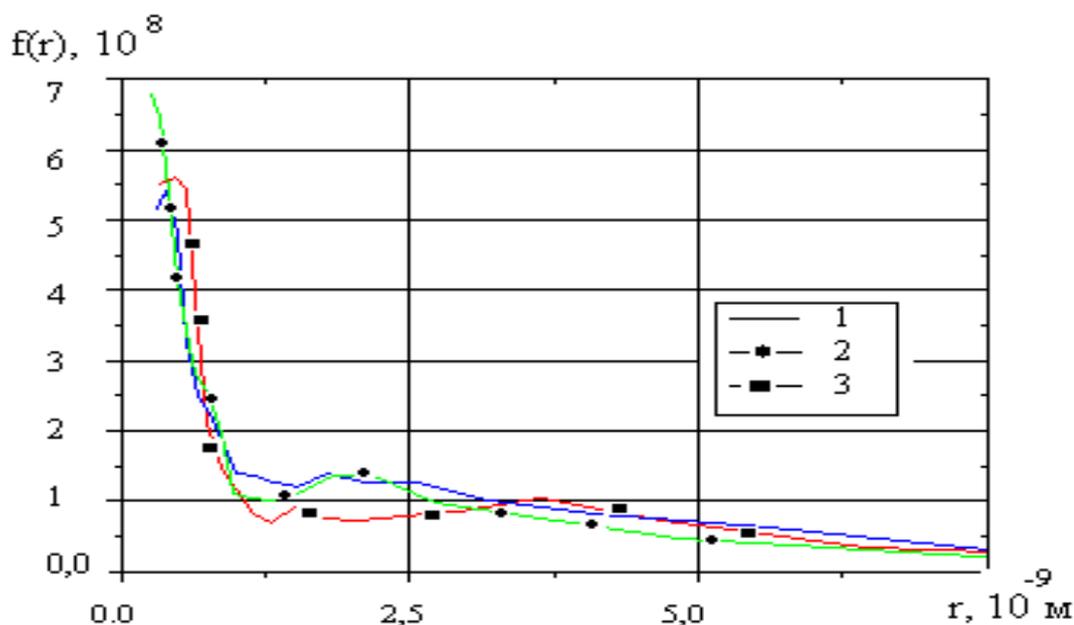


Рис.2. Дифференциальная кривая $F(r)$ распределения микропор по радиусам для свекловичного жома при температуре t : 1–25; 2–50; 3–70 °С

Как видно из рис. 2, максимальных значений все кривые достигают при минимальных значениях $r : 0,7 \cdot 10^{-9} \text{ м} \leq r \leq 1,2 \cdot 10^{-9} \text{ м}$. Это указывает на то, что жом обладает наибольшим количеством микропор именно этого размера. На кривой 1 при $t = 25^\circ\text{C}$ проявляются небольшие максимумы при $r \approx 1,3 \cdot 10^{-9} \text{ м}$ и при $r \approx 3,7 \cdot 10^{-9} \text{ м}$, охватывающий более широкий диапазон радиусов. Повышение температуры объекта исследования приводит к появлению незначительных максимумов (кривые 2 и 3 на рис. 2), которые смещаются в область меньших радиусов микропор. Последнее, на наш взгляд, можно объяснить усадкой скелета свекловичной стружки с повышением ее температуры.

Размер эквивалентного радиуса $r_{\text{экв}}$ [8] молекулярного течения пара, определенный с помощью одного из методов приближенного интегрирования, имеет размерность длины и зависит от кривой распределения пор по радиусами:

$$r_{\text{экв}} = \frac{\int_{r_0}^{r_{\text{max}}} r^2 f(r) dr}{r_{\text{max}} - r_0} \quad (1)$$

где r_0 - минимальный радиус микропор;

r_{max} - максимальный радиус микропор;

$f(r)$ - дифференциальная кривая распределения микропор.

Результаты расчетов представлены в табл.1

Таблица 1

Эквивалентный радиус r_e пор свекловичного жома

$t, ^\circ\text{C}$	25	50	70
$r_{\text{экв}}, 10^{-10} \text{ м}$	11,32	11,10	8,10

Количество адсорбированной влаги в полимолекулярном $u_{\text{п}}$ слое, а также влагу гигроскопического состояния $u_{\text{г}}$ находили по десорбционной кривой изотермы. Указанную изотерму строили также в координатах БЭТ [8] и более точно находили влагу мономолекулярного слоя $u_{\text{м}}$. Рассчитанные значения этих величин для свекловичного жома : $u_{\text{м}} = 0,04$ кг/кг, $u_{\text{п}} \approx 0,14$ кг/кг, $u_{\text{г}} = 0,40$ кг / кг - при температуре $25 ^\circ\text{C}$; $u_{\text{м}} = 0,038$ кг / кг , $u_{\text{п}} \approx 0,11$ кг / кг, $u_{\text{г}} = 0,294$ кг / кг - при температуре 50°C ; $u_{\text{м}} = 0,03$ кг / кг , $u_{\text{п}} \approx 0,9$ кг / кг , $u_{\text{г}} = 0,26$ кг / кг - при температуре 70°C . В промышленных барабанных сушилках сушка свекловичного жома происходит до влагосодержания $u = 0,115$ кг/ кг ($W = 13\%$). Таким образом, в процессе сушки удаляется вся капиллярная влага и только незначительная часть влаги слоя полимолекулярной адсорбции .

Полученные данные по влаге мономолекулярного слоя $u_{\text{м}}$ позволили провести оценку удельной поверхности микропор. Оценка удельной поверхности микропор свекловичного жома осуществлена по формуле

$$S_{уд} = \frac{u_m N_a S_0}{\mu}, \quad (2)$$

где N_a – число Авогадро; S_0 – площадь, которую занимает молекула воды в мономолекулярном слое; μ – молярная масса воды. Рассчитанные по (2) значения удельной поверхности $S_{уд}$ для свекловичного жома при температурах 25, 50, 70°C составляют 141,8 м²/г; 134,8 м²/г и 106,4 м²/г соответственно.

Заключение и выводы.

Установлено распределение микропор свекловичного жома за радиусами, по оценке которого следует, что в процессе сушки удаляется вся капиллярная влага и только незначительная часть влаги слоя поле молекулярной адсорбции. Подавляющее большинство микропор в свекольном жоме имеют радиусы до $7,5 \cdot 10^9$ м. Эффективный радиус микропор в свекольном жоме при увеличении температуры от 25 до 70°C уменьшается от $11,32 \cdot 10^{-10}$ м до $8 \cdot 10^{-10}$ м, а удельная поверхность от 141,8 м²/г до 106,4 м²/г.

Литература:

1. Энергосберегающие теплотехнологии производства пищевых порошков из вторичных сырьевых ресурсов : Моногр. / Ю. Ф. Снежкин, Л. А. Боряк, А. А. Хавин; НАН Украины. Ин-т техн. теплофизики. - К. : Наук. думка, 2004. - 228 с. - (Проект "Наук. кн.").
2. Динамика процессов тепломассопереноса, фазовых превращений и усадки при обезвоживании коллоидных капиллярно-пористых материалов / Н. И. Никитенко, Ю. Ф. Снежкин, Н. Н. Сороковая // Пром.теплотехника. - 2003. - 25, № 3. - С. 56-66.
3. Энерго- и ресурсосберегающий способ сушки термолабильных материалов / Н. И. Никитенко, Ю. Ф. Снежкин, Н. Н. Сороковая // Пром. теплотехника. - 2004. - 26, № 4. - С. 32-39.
4. Особенности процесса сушки пектиносодержащих материалов / Ю. Ф. Снежкин, Р. А. Шапарь // Пром. теплотехника. - 2006. - 28, № 3. - С. 25-28.

5. Дранников А. В. Влияние структуры свекловичного жома на энергозатраты в процессе сушки / А. В. Дранников, В. А. Дятлов, Е. И. Шишова. // Успехи современного естествознания. – 2005. – №8. – с. 34–35.

6. Иващенко Н.В. Методы обобщения нестационарного влагопереноса в процессах сушки влажных материалов / Н.В.Иващенко, А.Ф. Буляндра // Промышленная теплотехника. – 2003. – № 1 – с.57-61

7. Загоруйко В. А. Термодинамика и теплофизика влажных материалов : Приложения: Характеристические номограммы и тепловые H-d диаграммы равновесного влагосодержания / В. А. Загоруйко, А. А. Голиков, А. Г. Слынько, Одесский гос. морской ун-т . – Киев : Наукова думка, 1995 . – 89 с.

8. Грег С. Адсорбция, удельная поверхность, пористость / С. Грег, К. Синг. – М: Мир, 1970. – 408 с.

Рецензент: к.т.н., доц. Мельник З.П.

Статья отправлена: 25.09.2015 г.

© Иващенко Н.В.