

Некоторые особенности сушки пастообразных материалов на подложках

А.Н. Пахомов, Ю.В. Пахомова, Е.А. Хатунцева, В.А. Елизарова

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов

Аннотация: В статье представлено описание особенностей кинетики сушки жидких пастообразных продуктов на подложках на примере сушки кукурузной жидкости. Дано описание режимных условий проведения экспериментов. Приведено описание характера полученных кинетических кривых. Представлен анализ их поведения, связанный с механизмом формирования на поверхности высушиваемого продукта твердой корки, резко замедляющей интенсивность испарения с поверхности. Описано влияние режима сушки на цвет поверхности высушиваемого продукта.

Ключевые слова: подложка, сушка, паста, полупродукт, цвет, кинетика, корка, слой.

Сушка жидких дисперсных продуктов широко применяется в различных отраслях промышленности. К промышленно высушиваемым продуктам относятся суспензии полупродуктов, красителей, пластификаторов, технические и пищевые эмульсии и т.п. При сушке они переходят из жидкотекучего в твердое состояние. В качестве аппаратов для сушки подобных продуктов используют распылительные сушилки, сушилки с взвешенным слоем, вальцеленточные, барабанные, дисковые. Механизм и кинетика сушки подобных продуктов, как правило, изучены недостаточно [1-4].

Одним из наиболее полных и надежных методов исследования кинетики тепло и массопереноса при сушке жидких дисперсных продуктов является методика профессора В.И.Коновалова исследования процесса в тонких слоях на подложке или несущей основе [1, 4-8]. Результаты исследования в тонких слоях затем переносятся на промышленные условия с введением определенных необходимых добавлений и уточнений [10-13].

В рамках исследований кинетики сушки жидких дисперсных продуктов в различных условиях нами высушивался пастообразный продукт – «кукурузная жидкость». Это полупродукт переработки кукурузы: густой,

практически нетекучий, термолабильный материал желтого цвета, содержащий примерно 50% твердого вещества (масс.), в том числе: 50-65% белков, 22-29% молочной кислоты и 4-12% редуцированных сахаров (декстроза, мальтоза). Соответственно, для использования сухого продукта в качестве кормовой добавки, необходимо при сушке сохранить питательные свойства исходной жидкости. Добиться этого можно, только подобрав определенные режимы сушки [9].

Исследование процесса сушки кукурузной жидкости производилось на большой циркуляционной сушилке. В качестве подложек необходимо было выбрать такую конструкцию, которая обеспечивала бы нанесение и удержание на поверхности образца сплошного слоя жидкости наименьшей толщины. Было опробовано несколько вариантов подложек: с ниточными, проклеенными бортами, с бортами из фольги и т.п. В результате в качестве наиболее удобных и отвечающих нашим требованиям были выбраны пластины с фрезерованными бортиками для фторопластовых и металлических подложек и с тонким проволочным медным бортиком для сеточных подложек. Размеры образцов - 120x35 и 45x35 мм. Высота и ширина бортика - 0.8 мм. Толщина сплошных подложек - 2 мм, сеточных - 0.25 мм.

На сеточной подложке испарение идет с двух сторон, на фторопластовой и металлической подложке - с одной. Можно принять, что подвод тепла к высушиваемому продукту на сеточной подложке происходит теплоотдачей непосредственно от сушильного агента с двух сторон. В сплошных подложках - с одной стороны - от сушильного агента теплоотдачей, с другой - от подложки теплопроводностью.

Соответственно промышленным сушилкам использовались холодные (при температуре окружающего воздуха 20-22°C) и горячие (при температуре воздуха в сушилке) подложки. Сушка кукурузной жидкости производилась в диапазоне температур от 60 до 120 °C и скоростей обдува от 3 до 7 м/с [14].

Наибольшая теоретическая толщина удерживаемого слоя δ была рассчитана по формуле:

$$\delta = \left(\frac{2\sigma(1 - \cos \theta)}{\rho g} \right)^{0.5},$$

где ρ – плотность жидкости, θ – краевой угол, σ – поверхностное натяжение.

Для полученных свойств кукурузной жидкости наибольшая теоретическая толщина удерживаемого слоя составила 2.9 мм. Практически, благодаря бортикам при обеспечении смачиваемости, толщину наносимой 50% кукурузной жидкости удалось уменьшить до 0.8-0.85 мм, а толщину наносимых 10-35% растворов до 0.9-1 мм [11].

Некоторые результаты исследования кинетики сушки кукурузной жидкости представлены на рисунках 1-4.

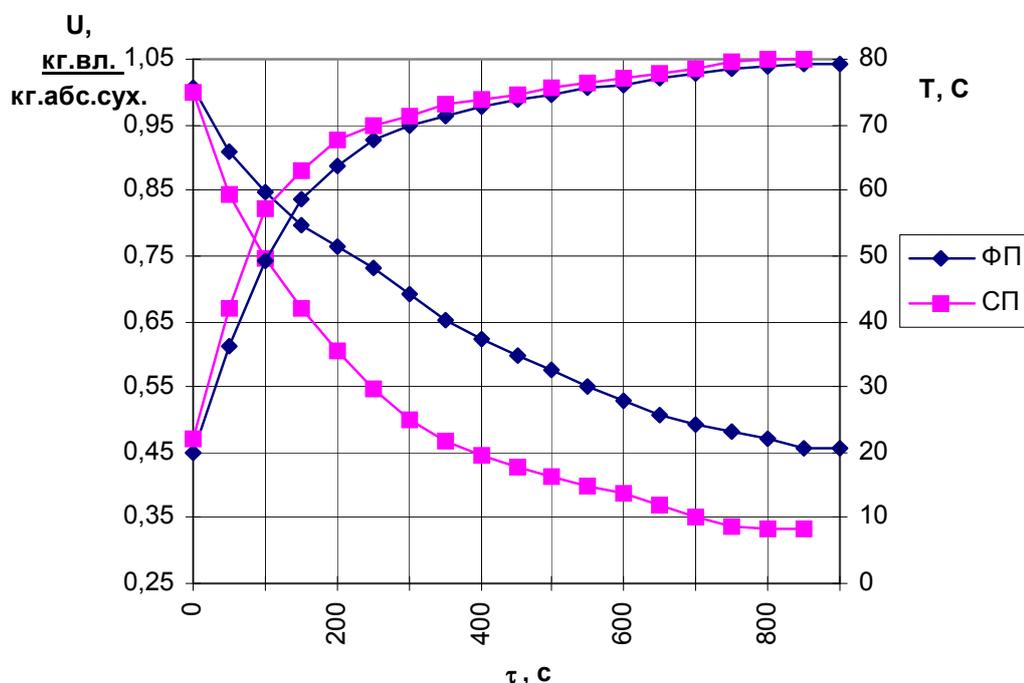


Рис.1. Кривые сушки КЖ на холодных фторопластовой (ФП) и сеточной (СП) подложках.

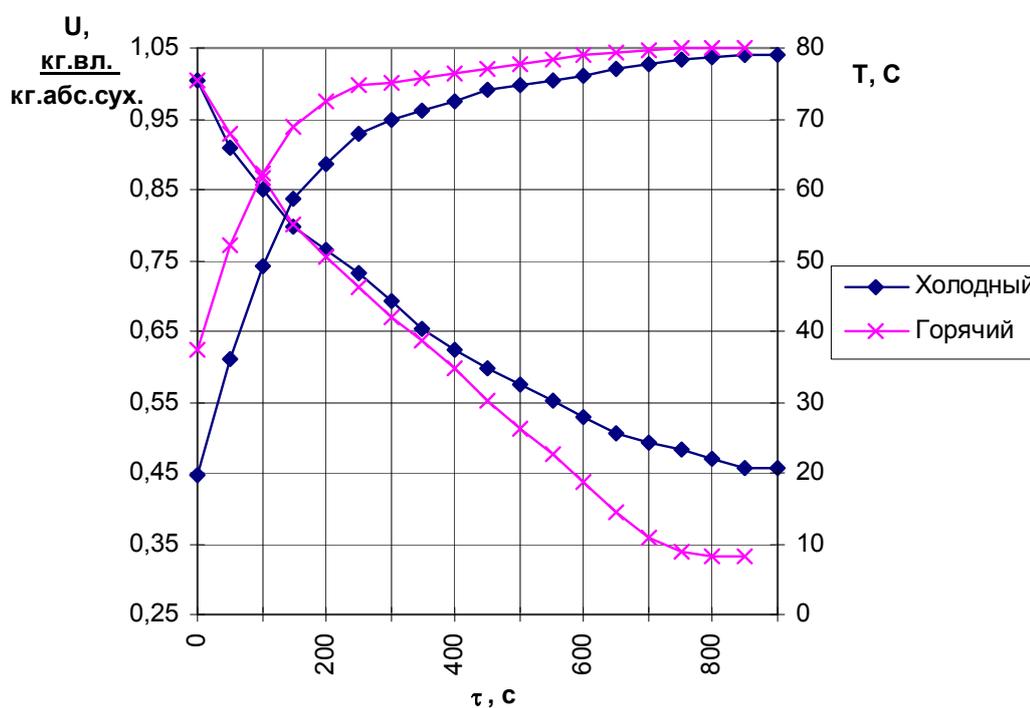


Рис. 2. Кривые сушки КЖ на холодной и горячей фторопластовой подложке

Как видно из рис.1 и 2 при сушке кукурузной жидкости наблюдается эффект резкого падения скорости сушки практически до нуля по достижении слоем температуры сушильного агента. При этом еще не достигается равновесное влагосодержание, а процесс сушки практически останавливается. Визуальные наблюдения и анализ остатка показали, что этот эффект обусловлен прежде всего образованием на поверхности высушиваемого слоя твердой корки, затрудняющей испарение влаги [9, 13].

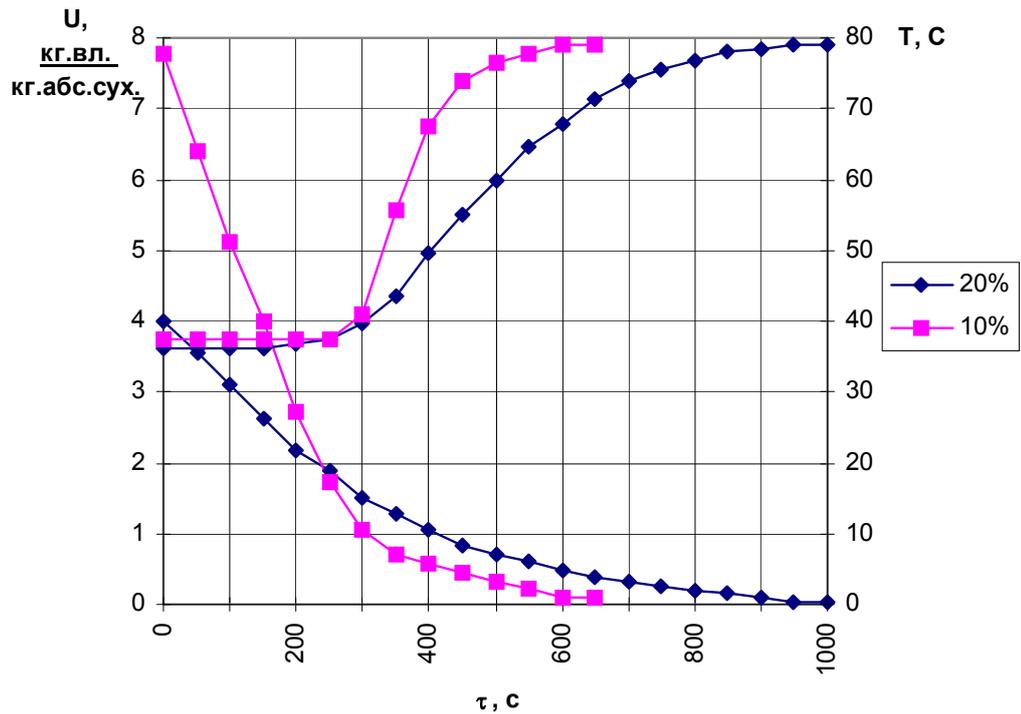


Рис. 3. Кривые сушки 10 и 20% кукурузной жидкости на горячей фторопластовой подложке

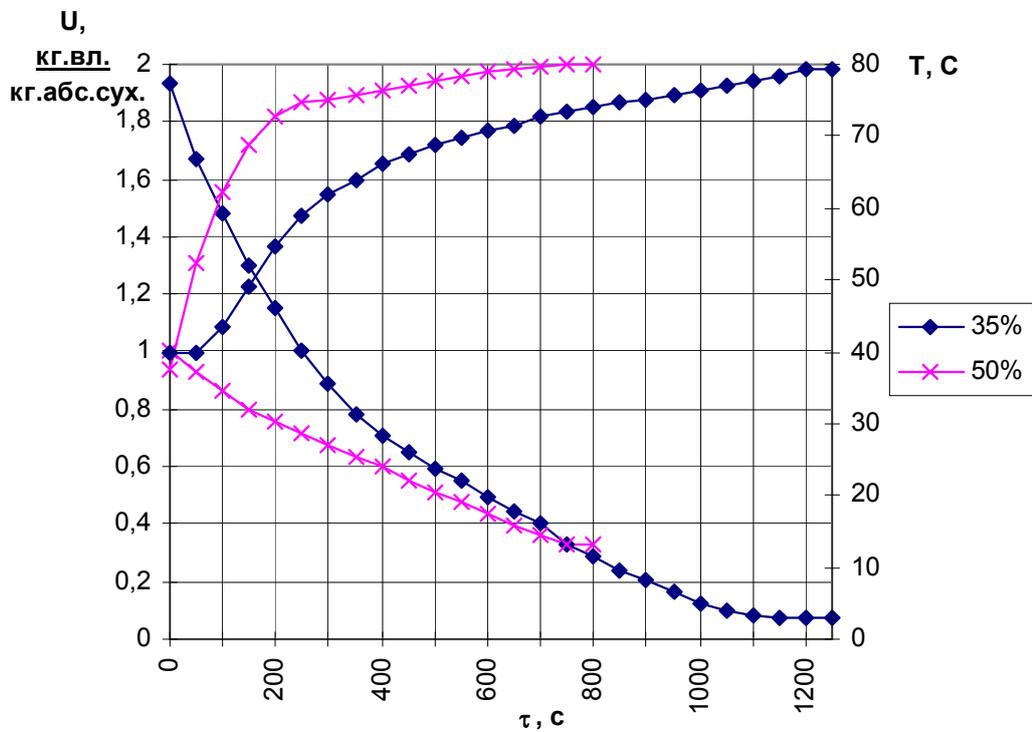


Рис. 4. Кривые сушки 35 и 50% кукурузной жидкости на горячей фторопластовой подложке

Сушка на горячих образцах (рис. 3 и 4) в общем случае позволяет сократить время сушки. Однако, в некоторых случаях, при нанесении высушиваемого продукта на горячий образец наблюдается быстрое появление загустевших областей и образование корки (при высокой температуре образца), что замедляет процесс сушки [14].

Нами исследовалась также сушка разбавленной кукурузной жидкости меньших концентраций: 35, 20, 10%(масс.). При сушке 10 и 20% разбавленной кукурузной жидкости, на термограммах наблюдается выраженная площадка температуры мокрого термометра (как при сушке на холодных, так и горячих (рис.3) подложках). При сушке 35% раствора КЖ на холодной подложке на термограмме в области температуры мокрого термометра наблюдается перегиб, на горячей - очень короткая (практически нет) площадка (рис.4), а при 50% (исходная жидкость) площадка температуры мокрого термометра полностью отсутствует (как на холодной, так и на горячей (рис.4) подложке).

При температуре сушильного агента 40-60 °С высушенный остаток имеет желтый цвет, при 80 °С уже местами светло-коричневый цвет, при 100°С - полностью светло-коричневый, при 120°С - коричневый, при 160°С - черный. Это говорит о том, что при повышении температуры высушиваемого материала выше 80°С происходят процессы деструкции исходных веществ, содержащихся в исходной кукурузной жидкости [11].

Литература

1. Гатапова, Н.Ц. Кинетика и моделирование процессов сушки растворителей, покрытий, дисперсий, растворов и волокнистых материалов: единый подход: дис. ... д-ра техн. наук: 05.17.08: защищена 10.06.2005. Тамбов, 2005. 554 с.

2. Савушкин, А.В. Лекомцев П.Л., Дресвянникова Е.В., Ниязов А.М. Электроаэрозольное увлажнение воздуха. Особенности подбора параметров работы генератора // Инженерный вестник Дона, 2012, № 2. URL:ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/857

3. Богомягких, В.А., Климович А.Л., Ляшенко А.С. К определению условного диаметра реальной частицы дискретного сыпучего тела // Инженерный вестник Дона, 2014, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2468

4. Пахомова, Ю.В. Кинетика сушки капель жидких дисперсий на диффузионно-непроницаемых подложках: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08: защищена 23.12.2011: утв. 23.12.2012. Тамбов, 2011. 283 с.

5. Пахомов, А.Н. Кинетика сушки дисперсий на твердых подложках: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08: защищена: 16.03.2001. Тамбов, 2000. 225 с.

6. Пахомов, А.Н., Пахомова Ю.В. Сушка капель жидких дисперсных продуктов. – М.: Издательство «Перо», 2013. – 122с.

7. Пахомова, Ю.В., Коновалов В.И., Пахомов А.Н. Особенности механизма и кинетики сушки капель дисперсий (на примере сушки послеспиртовой барды) // Вест. Тамб. гос. техн. ун-та. 2011. Т. 17, № 1. С. 70–82.

8. Коновалов, В.И., Пахомов, А.Н., Пахомова Ю.В. Геометрия, циркуляция и тепломассоперенос при испарении капли на подложке // Вест. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2011. – Т. 17, № 2. – С. 371–387.

9. Pakhomov A.N. Method of determination of adhesion of the film dries distillery grains on the substrate / R.Y. Banin, E.A. Chernikh, E.Y. Loviagina, N.S. Sorokina // Applied and Fundamental Studies : Proceedings of the 5th International Academic Conference. - St. Louis, USA: Publishing House Science and Innovation Center, 2014. - pp. 71-72.

10. Пахомов, А.Н., Пахомова Ю.В., Ильин Е.А. Возможности самоорганизации дисперсных систем при сушке на подложке // Вестник Тамбовского государственного технического университета. - 2012.- Т. 18, №3. - С.633 – 637.

11 Пахомова, Ю.В., Коновалов В.И. Оценка качества готового продукта при сушке жидких дисперсных веществ // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2011. – № 2(33). – С. 407–412.

12 Konovalov V.I. A.N. Pakhomov, N.Z. Gatapova, T. Kudra Modeling of drying of dispersed systems held on solid supports // Proc. of 4th Minsk International Heat and Mass Transfer Forum (MIF'2000). - Minsk, Belarus: ITMO, 22-26 May, 2000. - С. Vol. 9, Pp. 20-29.

13 Пахомов А.Н., Пахомова Ю.В. Типы кинетических кривых, получаемых при сушке капель жидких дисперсных продуктов // Химическая технология. - 2014. - №10. - С. 620-623.

14. Пахомов, А.Н., Сорокина Н.С., Баландина А.В. Интенсификация процесса сушки жидкой послеспиртовой барды в аппарате с кипящим слоем инертных тел // Инженерный вестник Дона, 2014, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2014/2727

References

1. Gatapova, N.S. Kinetika i modelirovanie processov sushki rastvoritelej, pokrytij, dispersij, rastvorov i voloknistyh materialov: edinyj podhod [Kinetics and modeling of the drying of solvents, coatings, dispersions, solutions and fibrous materials: a unified approach]: dis. ... d-ra tehn. nauk: 05.17.08 : zashhishhena 10.06.2005. Tambov, 2005. 554 p.

2. Savushkin A.V., Lekomtsev P.L., Dresvyannikova E.V., Niyazov A.M. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, № 2, URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/857

3. Bogomyagkikh V.A., Klimovich A.L., Lyashenko A.S. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №3, URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2468

4. Pahomova, Ju.V. Kinetika sushki kapel' zhidkih dispersij na diffuzionno-nepronicaemyh podlozhkakh [Kinetics of drying drops of liquid dispersions on the diffusion-impermeable substrates]: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.17.08: zashchishhena 23.12.2011 : utv. 23.12.2012 Tambov, 2011. 283 p.

5. Pakhomov, A.N. Kinetika sushki dispersiy na tverdykh podlozhkakh [The kinetics of drying of dispersions of solid substrates]: dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.17.08 : zashchishchena : 16.03.2001. Tambov, 2000. 225 p.

6. Pakhomov, A.N. Pakhomova Yu.V Sushka kapel' zhidkikh dispersnykh produktov [Drying drops of the dispersed liquid products], M.: Izdatel'stvo «Pero», 2013. 122p.

7. Ju.V. Pahomova, V.I. Konovalov, A.N. Pakhomov Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. 2011. V. 17, № 1. pp. 70–82.

8. V.I. Konovalov, A.N. Pakhomov, Yu.V. Pakhomova Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. 2011. V. 17, № 2. pp. 371–387.

9. A.N. Pakhomov, R.Y. Banin, E.A. Chernikh, E.Y. Loviagina, N.S. Sorokina Applied and Fundamental Studies : Proceedings of the 5th International Academic Conference. St. Louis, USA: Publishing House Science and Innovation Center, 2014. pp. 71-72.

10. A.N. Pakhomov, Ju.V. Pahomova, E.A. Ilin Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. 2012. V. 18, №3. pp.633 – 637.



11. Ju.V. Pahomova, V.I. Konovalov Voprosy sovremennoj nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo. 2011. № 2(33). pp. 407–412.

12. V.I. Konovalov, A.N. Pakhomov, N.Z. Gatapova, T. Kudra Proceedings of 4th Minsk International Heat and Mass Transfer Forum (MIF'2000). Minsk, Belarus: ITMO, 22-26 May, 2000. Vol. 9, pp. 20-29.

13. A.N. Pakhomov, Ju.V. Pahomova Himicheskaja tehnologija. 2014. №10. pp. 620-623.

14. A.N. Pakhomov, N.S. Sorokina, A.V. Balandina Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №4, URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2014/2727