

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА КИНЕТИКИ ИСПАРЕНИЯ КАПЛИ С ДИФфуЗИОННО-НЕПРОНИЦАЕМОЙ ПОДЛОЖКИ

А.Н. Пахомов, Е.А. Ильин

ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Рецензент д-р техн. наук, профессор Н.Ц. Гапанова

Ключевые слова и фразы: алгоритм; вода; капля; подложка; послеспиртовая барда.

Аннотация: Приведен алгоритм расчета кинетики испарения капли жидкости, нанесенной на горизонтальную диффузионно-непроницаемую подложку.

Для расчета процесса испарения капли жидкости, нанесенной на поверхность твердой диффузионно-непроницаемой подложки, необходимо знать характер изменения формы и размеров высыхающих капель. Наибольшую информативность в изучении характера таких изменений на сегодняшний день представляет использование макросъемки (фото-, видео-), совмещенное с постоянным измерением температуры и веса высыхающей капли. Для изучения двух наиболее характерных видов изменения формы и размеров капли в процессе испарения проведены наблюдения за испарением капли воды и капли жидкой послеспиртовой барды с фторопластового диска. Для воды характерно изменение положения линии контакта жидкость – твердое тело во времени (режим депиннинга). Для жидкой барды, наоборот, характерно постоянство положения линии контакта жидкость – твердое тело во времени (режим пиннинга). Схемы высыхания капли воды и барды на подложке представлена на рис. 1.

В процессе испарения капли с поверхности подложки толщина и/или диаметр капли постоянно изменяются. Этот характер изменения обусловлен постоянным уменьшением веса капли и соответственно изменением ее линейных размеров.

Для барды помимо изменения формы и толщины капли, связанных с постоянным уменьшением веса капли, наблюдается явление образования на поверхности тонкой пленки, в дальнейшем приводящее к формированию твердой структуры по всему объему высушиваемого материала – корки [1, 2].

Пахомов Андрей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологические процессы и аппараты», e-mail: ranpost@yandex.ru; Ильин Ефим Анатольевич – магистрант кафедры «Технологические процессы и аппараты», ТамбГТУ, г. Тамбов.

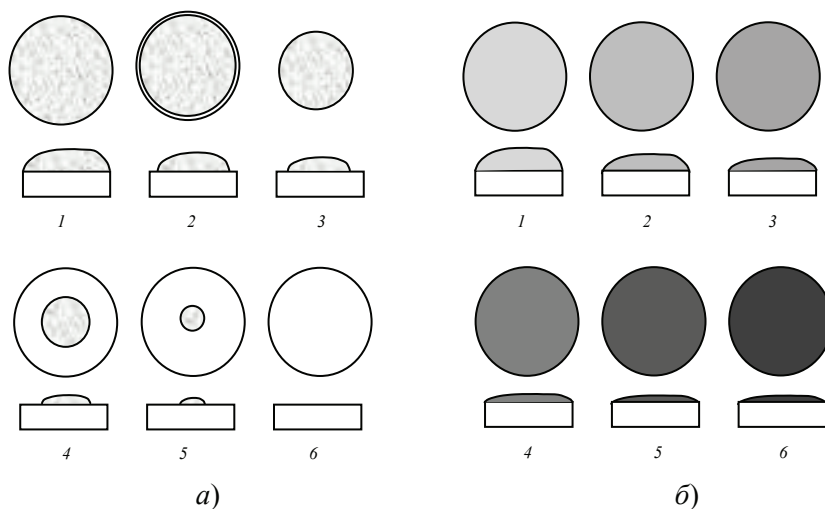


Рис. 1. Схемы высыхания капли воды (*а*) и послеспиртовой барды (*б*) на подложке: 1 – начальный момент времени (исходная капля); 2–5 – идет процесс сушки; 6 – конечный момент времени (капля высохла)

Блок-схема алгоритма расчета кинетики испарения капли жидкости с твердой подложки представлена на рис. 2.

В расчете необходимо использовать уравнения геометрии капли, лежащей на горизонтальном диске заданных размеров, для случая смачивания и несмачивания испаряющейся жидкостью поверхности подложки.

Уравнение для расчета выведено в виде функции $x(\delta)$ [5].

Формулы для расчета объема капли, периметра, смоченного каплей, и площади ее поверхности получены для капли как для тела вращения с использованием формулы для профиля капли [3].

Внешний тепломассообмен определяется критериальными уравнениями, полученными для случая испарения с криволинейной поверхности [3–5].

Для учета уменьшения интенсивности испарения с поверхности капли при формировании пленки необходимо использовать поправочный коэффициент ψ . Значения коэффициента ψ можно оценить из результатов расчета кинетики сушки капли в первом периоде (с учетом визуального контроля) и сравнения с экспериментальными данными.

Для простой инженерной оценки значения ψ можно рассчитать по формуле [3]

$$\psi = \begin{cases} 1 & \text{при } U \leq U_{\text{п}}; \\ 0,8 & \text{при } U_{\text{п}} < U \leq U_{\text{кр}}. \end{cases}$$

Алгоритм итерационного расчета по заданному объему капли состоит в следующем.

1. Рассчитать начальные значения профиля и основных размеров высыхающей капли, для заданного веса и объема капли.
2. Определить значения коэффициентов внешнего тепломассообмена.

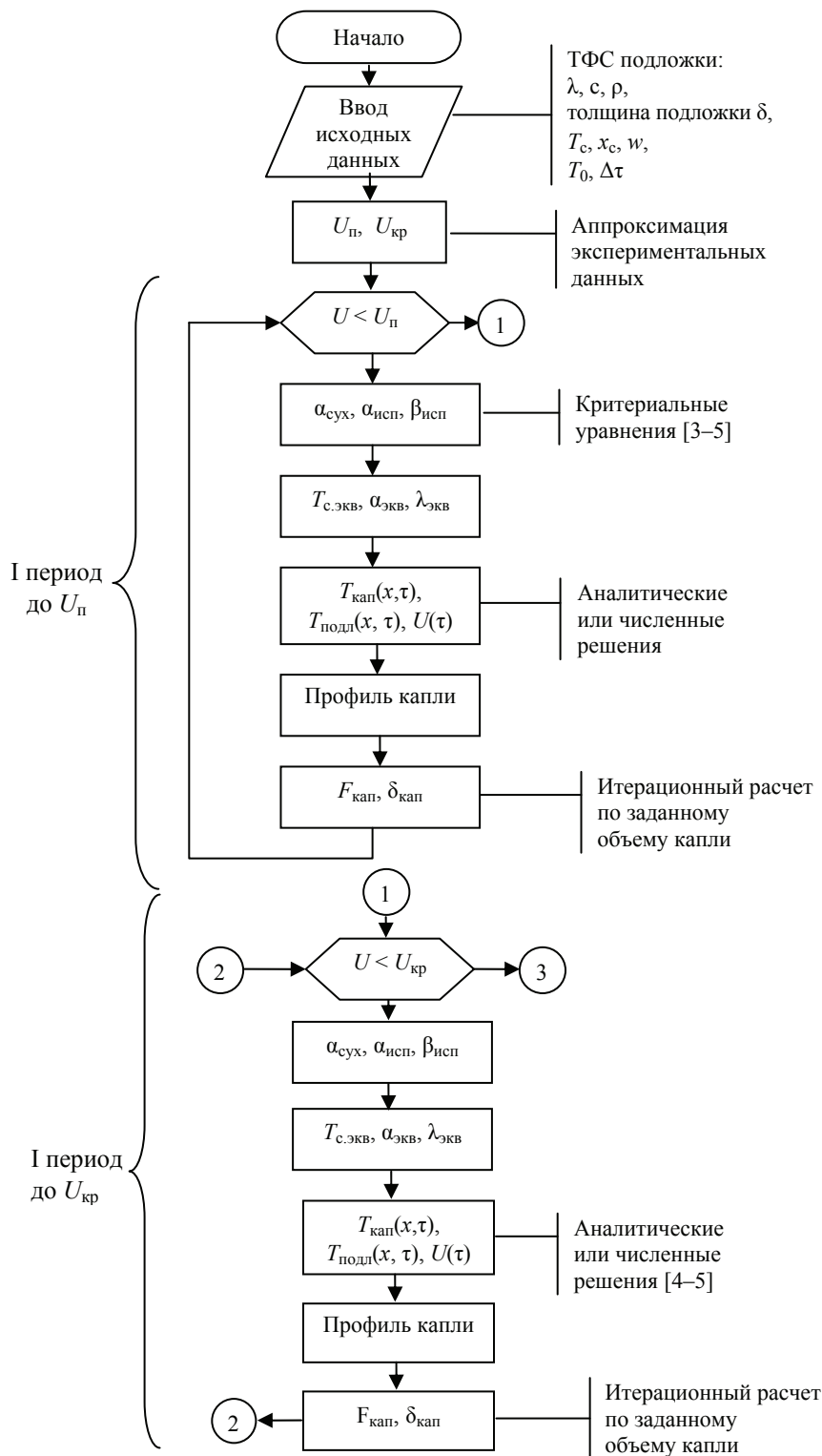


Рис. 2. Блок-схема алгоритма расчета кинетики сушки капли жидкости на твердой подложке (начало)

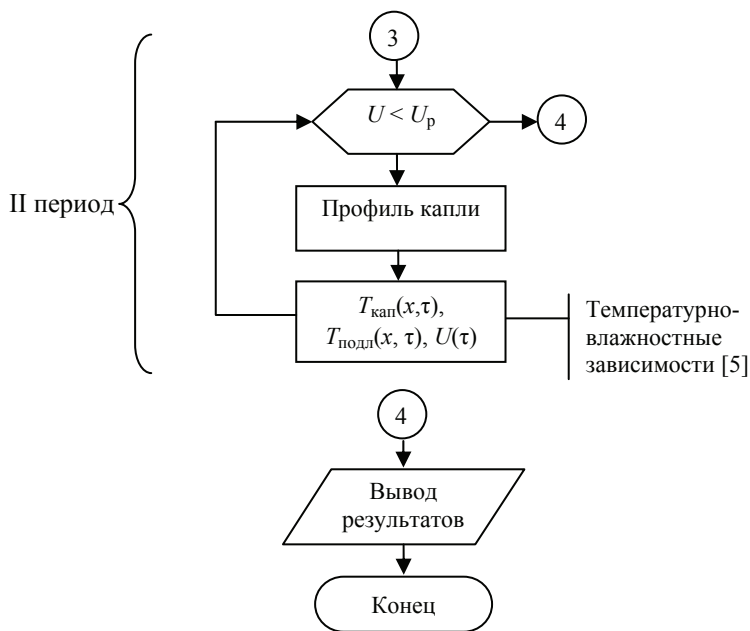


Рис. 2. Окончание: T – температура; U – влагосодержание; w – скорость обдува; F – площадь поверхности; x – координата; δ – толщина; τ , $\Delta\tau$ – время, интервал времени соответственно; ψ – коэффициент; α – коэффициент теплоотдачи; β – коэффициент массоотдачи; индексы: п – первое критическое влагосодержание; кр – второе критическое влагосодержание; р – равновесное; с – среда; сух – сухое; исп – испарение; экв – эквивалентное; подл – подложка

3. Рассчитать убыль влаги и температурное поле в капле путем решения задачи теплопроводности/диффузии любым известным методом с учетом внешнего стока тепла на испарение и уменьшения интенсивности испарения с поверхности капли с использованием поправочного коэффициента ψ .

4. Определить полученный объем капли в заданный момент времени.

5. Учитывая режим высыхания капли (пиннинг/депиннинг), пересчитать для заданного момента времени профиль и основные размеры капли, изменяя итерациями значения угла смачивания, до совпадения полученного значения объема капли со значением объема капли (п. 4).

В результате использования предлагаемого алгоритма получены значения веса капли, профиля капли, температурного поля внутри капли от начала процесса испарения до его окончания в заданные моменты времени.

Список литературы

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

2. Пахомова, Ю.В. Оценка качества готового продукта при сушке жидких дисперсных веществ / Ю.В. Пахомова, В.И. Коновалов // *Вопр. соврем. науки и практики. Ун-т им. В.И. Вернадского.* – 2011. – № 2(33). – С. 407–412.

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

4. Гатапова, Н.Ц. Кинетика и моделирование процессов сушки растворителей, покрытий, дисперсий, растворов и волокнистых материалов: единый подход : дис. ... докт. техн. наук : 05.17.08 : защищена 10.06.2005 : утв. 14.10.2005 / Гатапова Наталья Цибиковна. – Тамбов, 2005. – 554 с.

5. 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 / Пахомова Юлия Владимировна. – Тамбов, 2011. – 283 с.

Algorithm for Calculating the Kinetics of Evaporation from Diffusion-Impermeable Substrate

A.N. Pakhomov, E.A. Ilyin

Tambov State Technical University, Tambov

Key words and phrases: algorithm; distillery grains; droplet; substrate; water.

Abstract: The paper describes an algorithm for calculating the kinetics of evaporation of liquid droplets deposited on the horizontal diffusion-impermeable substrate.

© А.Н. Пахомов, Е.А. Ильин, 2013