

К определению максимального количества влаги на поверхности одиночной частицы

И. А. Левданский, А. А. Ковалева, И. В. Василевский, К. Ю. Окунев

Рассматривается один из возможных способов определения максимального значения поверхностной влажности одиночных частиц высушиваемого материала, находящихся в состоянии покоя.

Ключевые слова: жидкость, поверхностное натяжение, удельная поверхность, равновесие сил, частица.

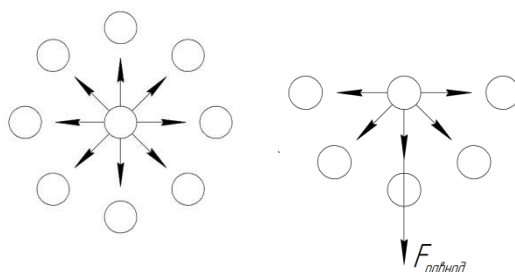
To determine the maximum amount of moisture on the surface of one particle

I. A. Levdansky, A. A. Kovaliova, I. V. Vasilevsky, K. Y. Okunev

One of the possible methods for determining the maximum value of the surface moisture content of single particles of the material to be dried, which are at rest, is considered.

Keywords: liquid, surface tension, specific surface, equilibrium of forces, particle.

Жидкости являются одной из разновидностей состояния тела при температурах ниже критической. При этом молекулы жидкостей весьма подвижны в сравнении с молекулами твердого тела, как следствие, у жидкости отсутствует форма. Однако кинетическая энергия большинства молекул жидкости меньше работы выхода (отрыва) от взаимодействия молекул жидкости между собой. Указанное обстоятельство объясняет наличие у жидкостей объема. Наличие у жидкости объема приводит к появлению у нее границы этого объема – свободной поверхности. Свободную поверхность жидкости также называют границей раздела фаз. Равнодействующая сил молекулярного взаимодействия, действующая на молекулы жидкости находящиеся на границе раздела фаз, направлена внутрь объема жидкости (рис. 1) [1].



*Рис. 1. Сила межмолекулярного взаимодействия частиц жидкости:
а – в объеме жидкости; б – на границе раздела фаз*

Очевидно, что молекулу, находящуюся на поверхности, втягивает в глубину. В результате этого расстояние между молекулами, остающимися на поверхности, увеличивается и оно превышает равновесное. Как следствие, между молекулами на поверхности действуют высокие силы взаимного притяжения и поверхностный слой находится в натянутом состоянии. Данное явление называется поверхностным натяжением.

При увеличении поверхности раздела фаз на этой поверхности должны появиться дополнительные молекулы, которые транспортируются из объема жидкости. Для транспортировки молекул жидкости из объема к границе раздела фаз необходимо совершить работу, направленную на преодоление сил межмолекулярного взаимодействия. Таким образом, на поверхностном слое жидкости накапливается потенциальная энергия, которую называют поверхностной энергией. Поверхностная энергия прямо пропорциональна величине площади границы раздела фаз, а также зависит от свойств границы раздела фаз.

$$W = \sigma \cdot S,$$

где σ – удельная поверхностная энергия или поверхностное натяжение жидкости, $\frac{\text{Дж}}{\text{м}^2}$ или после сокращений $\frac{\text{Н}}{\text{м}}$; S – площадь поверхности раздела фаз, м^2 .

В монографии [2] имеется и физическая интерпретация второго вида написания размерности поверхностного натяжения. В монографии упоминается, что «энергия, отнесенная к единице площади поверхности, эквивалентна поверхностному натяжению, определяемому как сила, действующая на единицу длины». В качестве примера рассматривается мыльная пленка, натянутая на проволочную рамку, одна сторона которой подвижна. В монографии утверждается, что энергия поверхностного натяжения в случае перемещения подвижной стороны рамки может быть представлена как сила, распределенная по длине этой подвижной стороны проволочной рамки. Рассмотрим более детально упомянутый в монографии пример и сделаем математический вывод данного утверждения.

Поверхностное натяжение пленки равномерно распределено по всему периметру рамки. Если подвижную сторону рамки медленно и плавно перемещать так, чтобы увеличивалась площадь пленки, то для этого к подвижной стороне рамки надо прикладывать усилие F необходимое для преодоления поверхностного натяжения. При суммировании поверхностного натяжения по подвижной стороне рамки получим силу поверхностного натяжения пленки $F_{\text{ПОВ}}$, действующую на подвижную сторону рамки со стороны натянутой пленки (рис. 2). Так как перемещение подвижной стороны происходит медленно и плавно, численно эти силы будут равны $F = F_{\text{ПОВ}}$. При перемещении подвижной стороны на расстояние Δx совершается работа $A = F \cdot \Delta x$, также можно записать $A = F_{\text{ПОВ}} \cdot \Delta x$. Разумеется, эта работа идет на изменение поверхностной энергии, т. е. $A = \Delta W = \sigma \cdot \Delta S = \sigma \cdot 2 \cdot b \cdot \Delta x$, приравняв эти значения, получаем $\sigma \cdot l \cdot \Delta x = F_{\text{ПОВ}} \cdot \Delta x$ или $F_{\text{ПОВ}} = \sigma \cdot l$, где $l = 2 \cdot b$ – длина границы свободной поверхности жидкости.

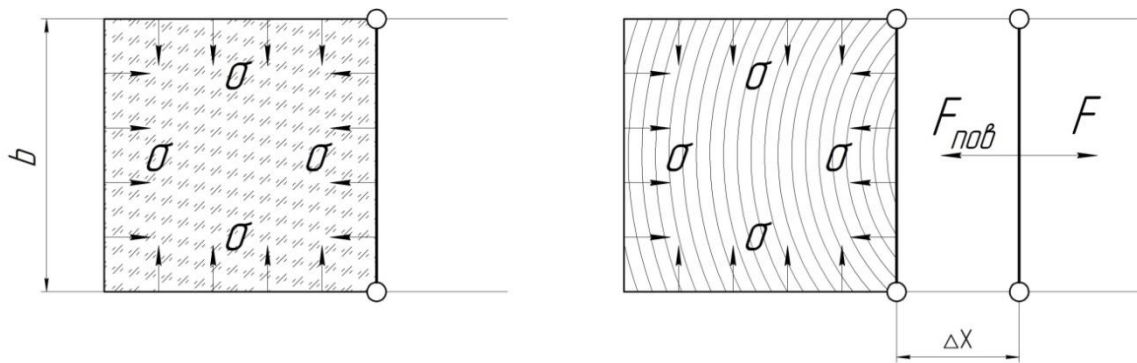


Рис. 2. Схема распределения сил поверхностного натяжения пленки жидкости, натянутую на проволочную рамку: *a* – все стороны неподвижны; *б* – при подвижной стороне рамки

Другими словами коэффициент поверхностного натяжения это сила, приходящаяся на единицу длины границы свободной поверхности жидкости. Рассмотренный пример позволяет определить максимальное значение поверхностной влажности одиночных частиц высушиваемого материала находящихся в состоянии покоя. Для этого определим максимальное количество влаги, которая может находиться на поверхности частицы, при условии, что на ее действует сила тяжести. Рассмотрим частицу в виде шара с радиусом r . Пусть частица находится в подвешенном состоянии покоя. Пленка влаги под действием силы тяжести сместится вниз, как показано на рис. 3.

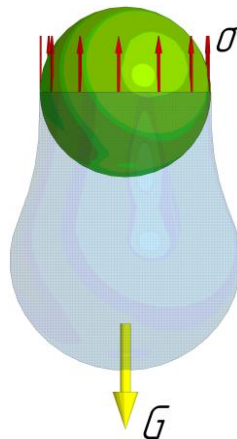


Рис. 3. Схема сил, приложенных к сечению разрыва пленки жидкости на поверхности частицы под действием силы тяжести

В нижней части произойдет накопление основной массы пленки. В момент отрыва влаги от частицы разрушение пленки влаги произойдет по наиболее нагруженному и тонкому сечению. Данное сечение находится в горизонтальной плоскости и соответствует горизонтальному сечению частицы с радиусом r . В момент разрушения пленки наблюдается равновесие силы тяжести влаги и силы поверхностного натяжения. Сила поверхностного натяжения может быть найдена по зависимости $F_{\text{пов}} = \sigma \cdot l = \sigma \cdot 2 \cdot 2\pi r$. Равновесие сил выгля-

дит как $m_{ж} \cdot g = \sigma \cdot 2 \cdot 2\pi r$. Тогда максимальная масса жидкости на поверхности частицы $m_{ж} = \frac{4 \cdot \sigma \cdot \pi r}{g}$. Разделив массу на плотность, можем найти объем поверхностной влаги $V_{ж} = \frac{4 \cdot \sigma \cdot \pi r}{g \cdot \rho}$. В случае равномерного распределения этой влаги по поверхности сферической частицы можно найти толщину пленки жидкости. Для указанного случая объем жидкости на поверхности частицы может быть найден по зависимости $V_{ж} = 4\pi \cdot r^2 \cdot \delta$. Тогда приравняв значения объемов, найдем толщину пленки $\delta = \frac{\sigma \cdot r}{\rho \cdot g}$.

Библиографический список

1. *Зимон, А. Д.* Адгезия жидкости и смачивание. – Москва : Химия, 1974. – 416 с.
2. *Адамсон, А. Х.* Физическая химия поверхностей. – Москва : Мир, 1979. – 568 с.

Сведения об авторах

Иван Александрович Левданский, аспирант, Белорусский государственный технологический университет (Республика Беларусь, г. Минск), riahr@belstu.by

Анастасия Александровна Ковалева, аспирант, Белорусский государственный технологический университет (Республика Беларусь, г. Минск), nastya.covaleva1969@mail.ru

Иван Викторович Василевский, студент, Белорусский государственный технологический университет (Республика Беларусь, г. Минск)

Кирилл Юрьевич Окунев, студент, Белорусский государственный технологический университет (Республика Беларусь, г. Минск)