

«М.А.Гендельманның 110 жылдығына арналған «Сейфуллин окулары – 19» халықаралық ғылыми-практикалық конференциясының материалдары = Материалы международной научно-практической конференции «Сейфуллинские чтения – 19», посвященной 110 - летию М.А. Гендельмана». - 2023. - Т.І, Ч.І.- С. 374-377.

УДК:10167

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНВЕКТИВНОЙ СУШКИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

*Понасенко А.С., заместитель директора
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
Сафаров Ж.Э., профессор, д.т.н.
Ташкентский государственный технический университет, г. Ташкент*

При сушке поток горячего воздуха направляется к материалу в сушилке, позволяя теплу передаваться материалу путем конвекции, удаляя при этом испаряющуюся воду из окружающей среды. Этот процесс продолжается до тех пор, пока в продукте не образуется равновесная влажность, зависящая от относительной влажности и температуры воздуха.

Сушка представляет собой сложный процесс, состоящий из одновременных механизмов тепло- и массопереноса. Процесс воздушной сушки обычно состоит из постоянной скорости, за которой следует период уменьшения скорости. В период постоянной скорости поверхность покрыта водой. По мере испарения воды происходит массоперенос с поверхности. Скорость воздуха, температура и относительная влажность являются факторами, влияющими на скорость сушки в этом процессе. В период падения скорости влагоперенос контролируется внутренними механизмами массопереноса, такими как капиллярное течение, диффузия жидкости и пара. Один или несколько из этих механизмов могут действовать одновременно в период падения скорости. Температура воздуха, химический состав, физическая структура и толщина продукта влияют на скорость сушки. В гигроскопичных материалах наблюдаются 2 периода уменьшения скорости. В течение 1-го периода снижения скорости площадь влажной поверхности уменьшается по мере того, как влага продукта выбрасывается в воздух. После высыхания поверхности начинается второй период упадка, и внутри продукта происходит испарение[1].

Масса воды, переносимая испарением с единицы площади в единицу времени, определяет скорость высыхания. Когда начинают сушить влажный продукт, поверхность которого покрыта пленкой воды, скорость сушки равна скорости испарения с поверхности воды. Пока скорость, температура и влажность воздуха остаются постоянными, скорость сушки не меняется. Влажность в момент, когда водяная пленка на поверхности начинает исчезать, называется первой критической влажностью. Период постоянной

скорости – это период сушки, который длится до тех пор, пока не упадет критическая влажность. Изменение абсолютной влажности и скорости высушивания материала во времени показано на рис. 1 [2].

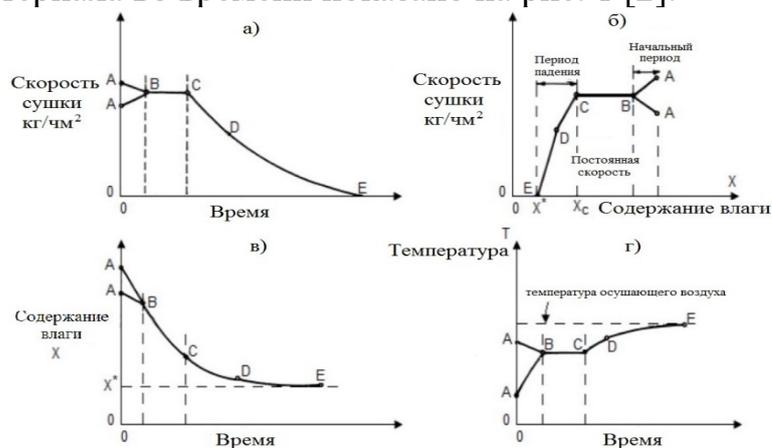


Рис.1. Влияние скорости сушки в зависимости от различных факторов: а) изменение скорости сушки во времени б) изменение скорости сушки в зависимости от влажности в) изменение влажности во времени г) изменение температуры во времени.

Влажность продукта постоянно снижается в разные периоды времени. С другой стороны, температура поверхности постоянна в диапазоне ВС, так как внешние условия (скорость воздуха, влажность, температура) постоянны в зависимости от осушенного воздуха. Это происходит за счет плавного испарения жидкости. В области ВС теплообмен уравнивается массопереносом.

- АВ: Процесс нагревания или охлаждения влажного продукта до достижения равновесия;
- ВС: Стабильное испарение жидкости в период постоянной скорости;
- А: Первая критическая точка, при которой на поверхности влажного продукта начинают образовываться сухие пятна;
- CD: Первый период скорости падения;
- D: Вторая критическая точка, где видны сухие участки, где поверхность полностью испарилась;
- DE: Второй период скорости падения.

Через короткое время после того, как твердое тело начинает сушиться из точки А, оно входит в период постоянной скорости, называемый «SHP». В этом цикле скорость сушки постоянна, а переменная скорость, влажность и температура воздуха влияют на скорость сушки. Поверхность твердого тела в этом равновесном состоянии полностью покрыта слоем влаги, а температура его поверхности равна температуре воздуха по влажному термометру. Однако, когда количество влаги в материале начинает уменьшаться, перенос жидкости из внутренней области на поверхность затрудняется из-за увеличения сопротивления трения в капиллярных пространствах и поверхность не остается все время влажной. Поскольку твердый продукт продолжает сохнуть, скорость высушивания не остается постоянной, и водяная пленка начинает исчезать в точке С первой критической влажности. Через

некоторое время водяная пленка на поверхности полностью исчезает. После этого момента наблюдается непрерывное снижение массообмена.

Этот период называется периодом убывающей скорости. Точка D называется второй критической влажностью. По мере продолжения сушки скорость сушки продолжает уменьшаться в зависимости от скорости движения воды от вещества к поверхности, и ее скорость становится равной нулю, когда влажность продукта находится в равновесии с относительной влажностью сушильного воздуха. В период снижения скорости в результате сухости на поверхности продукта и повышения температуры поверхности в продукте наблюдаются дефекты структуры и качества. Превышение критического значения влажности приводит к гигроскопической потере влаги. По этой причине предпочтительнее сушить в районе ВС, где критическая влажность текстильных изделий не превышает.

Причина, по которой ее называют критической точкой, заключается в том, что в процессе сушки внутреннее сопротивление жидкости в твердом теле поверхности ограничивает степень сушки. После этого момента на поверхности происходит испарение и степень высыхания уменьшается. Во второй критической точке поверхность полностью испаряется. В период убывания скорости теплота, передаваемая поверхности, превышает энергию, необходимую для испарения жидкости. Температура поверхности приближается к температуре сухого термометра. В результате снижается массоперенос и достигается равновесная влажность.

Продукты делятся на гигроскопичные и негигроскопические вещества в зависимости от свойств содержащейся в них влаги. Гигроскопичные материалы – это вещества, способные поглощать воду. Гигроскопический баланс продукта с окружающей средой изменяется в зависимости от температуры и влажности воздуха. Если влажность продукта не сбалансирована с влажностью сушильного воздуха, продукт поглощает или выделяет воду. Причиной такой ситуации также может быть указание на то, что парциальное давление воды в материале отличается от давления водяного пара в окружающем воздухе. Эти материалы можно сушить только до тех пор, пока они не достигнут равновесного содержания влаги.

Негигроскопичными материалами являются песок, глина, стекло и др. вещества, не содержащие воды, например. Парциальное давление воды в материале и давление паров воды в воздухе равны друг другу. В процессе сушки сухой продукт имеет наименьшее количество влаги, в зависимости от температуры воздуха и относительной влажности при равновесии влажность. Гигроскопичные вещества имеют только равновесную влажность.

Из-за пустот в материалах их структуры называют пористыми. Эти пространства могут быть заполнены водой или воздухом. Если давление паров воды в продукте больше, чем парциальное давление паров воды во внешней среде, происходит перенос влаги из продукта во внешнюю среду. Если давление пара воды в изделии меньше парциального давления водяного пара в уличном воздухе, происходит перенос влаги из внешней среды в изделие. Баланс между влажностью окружающего воздуха и влажностью

продукта называется гигроскопическим балансом. Связь между равновесным содержанием влаги в продукте и относительной влажностью воздуха известна как кривая сорбции (рис. 2) [3].

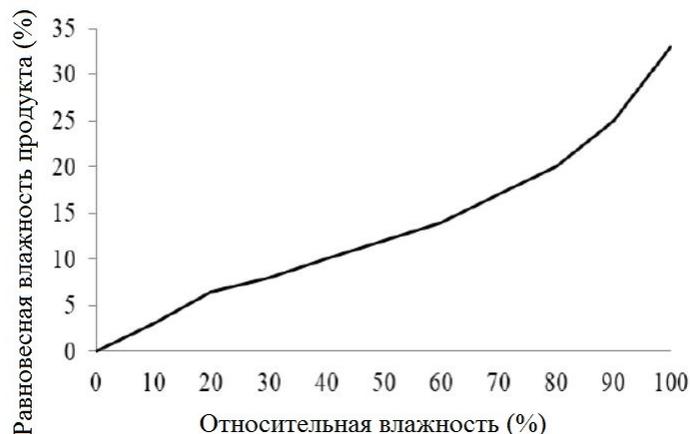


Рис. 2. Сорбционное поведение гигроскопичного материала

Абсорбция жидкости из окружающей среды сухого продукта называется абсорбцией (увлажнением), а изъятие жидкости из влажного материала - десорбцией (высушиванием). Оба показаны вместе на кривой сорбции. Поскольку испарение и конденсация происходят во внутренней структуре материала, то кривые десорбции и поглощения различны. На кривой поглощения, когда продукт оставляют сохнуть в среде с определенной относительной влажностью и температурой, наблюдается достижение равновесной влажности. На кривой десорбции видно, что влажный продукт достигает равновесной влажности в зависимости от влажности окружающей среды. Равновесная влажность, которой достигает каждый продукт при определенных погодных условиях, различна [4].

Список использованной литературы

1. Gulati T., Datta A.K. Mechanistic understanding of case-hardening and texture development during drying of food materials. *Journal of Food Engineering*, 2015, 166: 119–138.
2. Zhu A., Shen X. The model and mass transfer characteristics of convection drying of peach slices. *Int J Heat and Mass Trans.*, 2014, 72: 345-351.
3. Cemeroglu B., Acar J. Meyvevesebzeislemeteknolojisi. *GıdaTecnolojisiDerneğiYayın No: 6, 1986, Ankara.*
4. Ergasheva, Z.K., Rakhmanova, T.T., Tarawade, A., Sultonova, S.A., Safarov, J.E. Investigation of the drying process of moist materials under convective heat input conditions / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022, 1076(1), 012058.