

Тепловой режим при радиационной сушке продуктов

Нуриддинов Х., Кўчқоров Ж., Нормаматов Ч., Жўраев А., Нуриддинов О.

Бухарский филиал

Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства

Аннотация. В работе указаны особенности сушки при подводе тепла излучением, тепловой режим и абсолютности радиационной сушки продуктов (сушка солнечным излучением) в комбинированной сушилке.

Результаты исследования показывают, что действительно, с ростом влажности воздуха в камере сохранение теплового баланса при постоянстве скорости сушки приводит к повышению температуры продукта.

Ключевые слова: тепловой поток, скорость сушки продуктов, испарение воды, температура воздуха, температура продукта, падающего потока излучения, давление пара, давление насыщения

Рассмотрим тепловой режим при абсолютно радиационной сушке продуктов (сушка солнечным излучением) в комбинированной сушилке.

В работе [2] были проведены сравнительные исследования конвективной сушки влияния на сушку излучения.

Автор делает вывод о том, что влияние излучения незначительно.

Метод автора [2] основан на введении в уравнение баланса эффективной температуры, которая характеризует падающее излучение не связана с действительными температурами продукта и воздуха в камере.

Рассмотрим в начале особенности сушки при подводе тепла излучением. При установившемся режиме сушки подводимый тепловой поток равен теплу, идущему на испарение, или

$$S_n * E = N * r * s \quad (1)$$

Отсюда следует, что скорость сушки N равна

$$N = \frac{E}{r} \quad (2)$$

С другой стороны для скорости испарения воды со свободной поверхности известна формула Дальтона

$$N = C * (P_n - P_{п}) \quad (3)$$

здесь P_n и $P_{п}$ в $\text{кг}/\text{м}^2$, которую с учетом формулы Шпрунга можно записать в виде:

$$N = C * 6.78 * (t_b - t_{п}) \quad (4)$$

Из анализа (2) - (4) можно сделать следующие предположения выводы.

При конвективной сушке - (4) скорость сушки N как это и известно пропорциональна разности температур и с увеличением температуры воздуха t_b она растет. При радиационной сушке, когда температура воздуха может незначительно отличаться от температуры продукта, необходимую скорость сушки, как видно из (3) можно обеспечить только за счет увеличения разности давления насыщения P_n у поверхности воды (при температуре продукта $t_{п}$) и парциального давления пара в воздухе $P_{п}$ ($P_{п}$ - в общем случае зависит как от температуры, так и от влажности воздуха, тогда как P_n функция только температуры)?

Увеличить давление насыщения P_n можно только за счет увеличения температуры продукта.

Отсюда следует принципиальная разница между конвективной и радиационной сушкой. Если в первом случае необходимо для увеличения скорости сушки необходимо повышать температуру теплоносителя, то во втором случае при подводе тепла излучением необходимую скорость сушки можно обеспечить только за счет повышения температуры продукта. Таким образом при сушке излучением температуры

продукта могут существенно превышать температуры продукта имеющие место при конвективной сушке.

Характерные температуры продукта при сушке излучением, полученные на основе уравнений (1)-(4) приведены на рис.1, там же дана скорость сушки.

Из рис. 1 видно, что температура продукта действительно растет, но значительно меньше, чем плотность падающего потока излучения E , скорость же сушки пропорциональна падающему потоку. Эти обстоятельства важны для практики сушки, т.к. увеличение температуры продукта выше некоторого предела недопустимо. Эти результаты, полученные для модели сушки в виде испарения воды со свободной поверхности справедливы для конкретных продуктов только до некоторого предела, которые обусловлены внутренними процессами переноса влаги в продукте. Эти границы необходимо устанавливать для каждого продукта на основе экспериментальных исследований. Для практики также важны случаи о назначении величин температуры и влажности воздуха в сушилке при сушке излучением и их влиянии на температуру продукта и скорость сушки.

Выше был рассмотрен температурно-влажностный режим в камере сушки при конвективном подводе тепла. Было показано, что уменьшение скорости практически пропорционально увеличению влажности в продукте. Эти процессы были обусловлены увеличением парциального давления пара в воздухе $P_{п}$ и уменьшением давления насыщения у поверхности продукта. Причем, уменьшение P_n и увеличение $P_{п}$ находилось в пределах 12%, а при этом изменение N и φ составило около 50 %.

Рассмотрим эти зависимости при сушке излучением. Пусть температура воздуха, входящего в сушилку составляет t_n , влажность φ_n , тогда парциальное давление воздуха равно:

$$P_{п} = \varphi_n * P_{пв} \quad (5)$$

где $P_{пв}$, давление насыщения паров в воздухе при t_n .

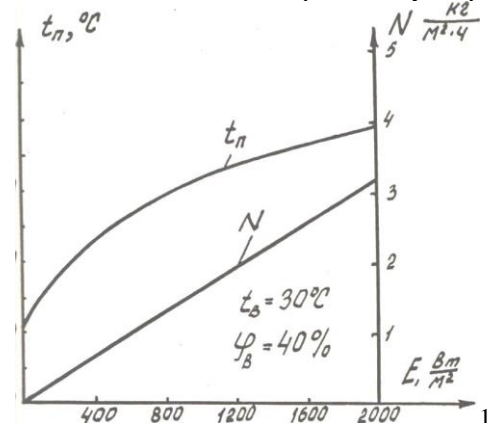


Рис. 1 Температура и скорость сушки продукта в зависимости от плотности поглощенного продуктом излучения

$P_{нв}$ можно определить либо из таблиц или из формулы. Влажосодержание воздуха d равно

$$d = 0.622 * \frac{P_n}{B - P_n} \quad (6)$$

Из определения d следует, что т.к. с изменением температуры влажосодержание не изменяется, то как видно из (6) постоянным остается и парциальное давление пара в воздухе (при этом влажность воздуха уменьшается, а давление насыщения увеличивается), растет и потенциал сушки Δd_n равный

$$\Delta d_n = d_n - d = 0.622 * P_n * \left(\frac{1}{P_n - 1} - \frac{\varphi}{P_n - 1} \right) \quad (7)$$

Из формулы Дальтона (см. 3) следует, что при данной температуре продукта с изменением температуры воздуха скорость сушки изменяться не будет. Однако в зависимости от того, будет ли температура воздуха меньше или больше температуры продукта, будет изменяться тепловой баланс между излучением и продуктом. Часть тепла продукта будет отдаваться воздуху конвекцией или забираться воздухом.

Для описания такого совместного процесса, необходимо либо перевести температуру воздуха в тепловой поток излучением, либо наоборот, как в [2] перевести поток излучения в температуру (эффективная температура). Из системы уравнений (2)-(4) следует, что связь между эффективной температурой и изменением E имеет вид :

$$t_{эф} = t_n + \frac{E}{6.78 * r * c} \quad (8)$$

На рис. 2 приведена зависимость от E .

Из этой системы уравнений также следует формальная зависимость связывающая плотность потока излучения с разностью температур $t_b - t_n$ и плотностью потока излучения E .

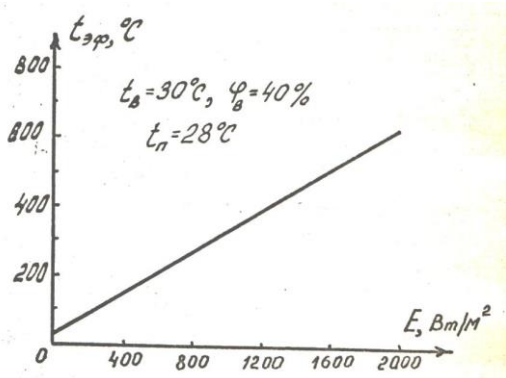


Рис.2 Эффективные температуры излучения потока плотностью E .

$$t_b - t_n = \frac{E}{6.78 * c * r} \quad (9)$$

Анализ процесса также показывает, что если при конвективной сушке скорость сушки по длине камеры уменьшается, то при сушке излучением скорость сушки может оставаться постоянной. Это будет обусловлено тем, что увеличение парциального давления пара в воздухе P_n будет компенсироваться увеличением температуры продукта. Т.е. имеет место процесс в какой то

Литература:

1. Нуридинов Х. «Разработка и исследование комбинированной гелиосушилки плодово-овощной продукции» Дисс. к.т.н., Ташкент 1994, стр. 117-125.
2. О. Кришер Научные основы техники сушки, под.ред. д.т.н., проф. А.С.Гинзбурга, Ил. М., 1961, стр. 32
3. М. А. Михеев, И.М.Михеева Основы теплопередачи. — М., Энергия, 1973., стр. 250.

степени саморегуляции скорости сушки. На рис. 3 качественно такой случай, когда влажность воздуха повышается, а температура воздуха t_b и плотность падающего потока E постоянны. Схема расчета имела вид : для заданного φ и t_b определили P_n , далее из уравнения

$$P_n = \left(\frac{E}{(C * r)} + P_n \right) \quad (10)$$

определяем P_n , и из таблиц водяного пара определяем температуру продукта t_n .

Из результатов исследования этого вопроса следует, что действительно с ростом влажности воздуха в камере сохранение теплового баланса или постоянства скорости сушки приводит к повышению температуры продукта (и наоборот). Однако, как видно из рис. 2 темп роста температуры существенно ниже темпа роста влажности.

Так рост влажности в 3 раза, с 20 % до 60 % приводит к росту порядка 30-40%, и только на 50 % при изменении влажности воздуха с 20 % до 100 %.

Таким образом, при сушке излучением фактор влажности практически не влияет на скорость сушки. Это имеет практическое значение т.к. в комбинированной сушилке это позволяет снять ряд ограничений, которые имеют место в конвективных сушилках - ограничение на максимальную влажность воздуха в камере, а отсюда на расходы воздуха или длину камеры.

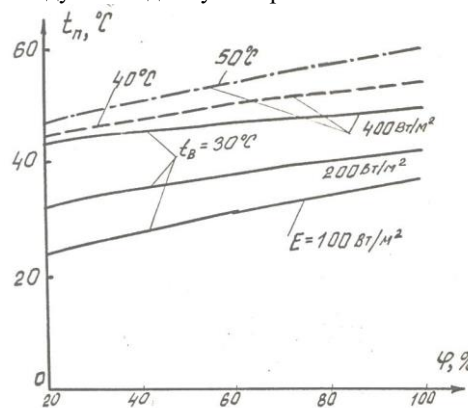


Рис. 3 Температура нагрева продукта при сушке излучением в зависимости от влажности воздуха в камере при различных плотностях излучения и температуры воздуха в камере t_b .

Так же из рис. 1, 3 можно видеть, что несмотря на имеющее место повышение температуры продукта, эти температуры в общем не превышают температур, при которых начинаются качественные изменения в продукте.

В целом из проведенных исследований следует, что радиационная сушка достаточно эффективна и этот способ подвода тепла к продукту необходимо учитывать при разработке комбинированной сушилки, можно также отметить, что полученные результаты позволяют определять необходимый уровень плотности излучения в области линейного изменения скорости сушки.