

СПОСОБЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛО-И МАССОПЕРЕНОСА ПРИ СУШКЕ ТАБАКА

Пестова Л.П., канд. техн. наук; Петрий А.И., ст. науч. сотр.;
Саломатин В.А., д-р экон. наук; Винецкий Е.И., д-р техн. наук

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт табака,
махорки и табачных изделий, г. Краснодар

Аннотация. В статье описаны основные методы энергоподвода, позволяющие интенсифицировать тепло-и массоперенос при сушке табака, сократить энергозатраты, получить сырье потребительского качества.

Рассмотрены некоторые теоретические вопросы и конструктивные особенности используемого оборудования.

Ключевые слова. Интенсификация, сушка, тепло-и массоперенос, способы энергоподвода, качество табака, расход тепла.

Тепло-и массоперенос при сушке табака оказывает определяющее влияние на скорость сушки, качество сырья и расход электроэнергии.

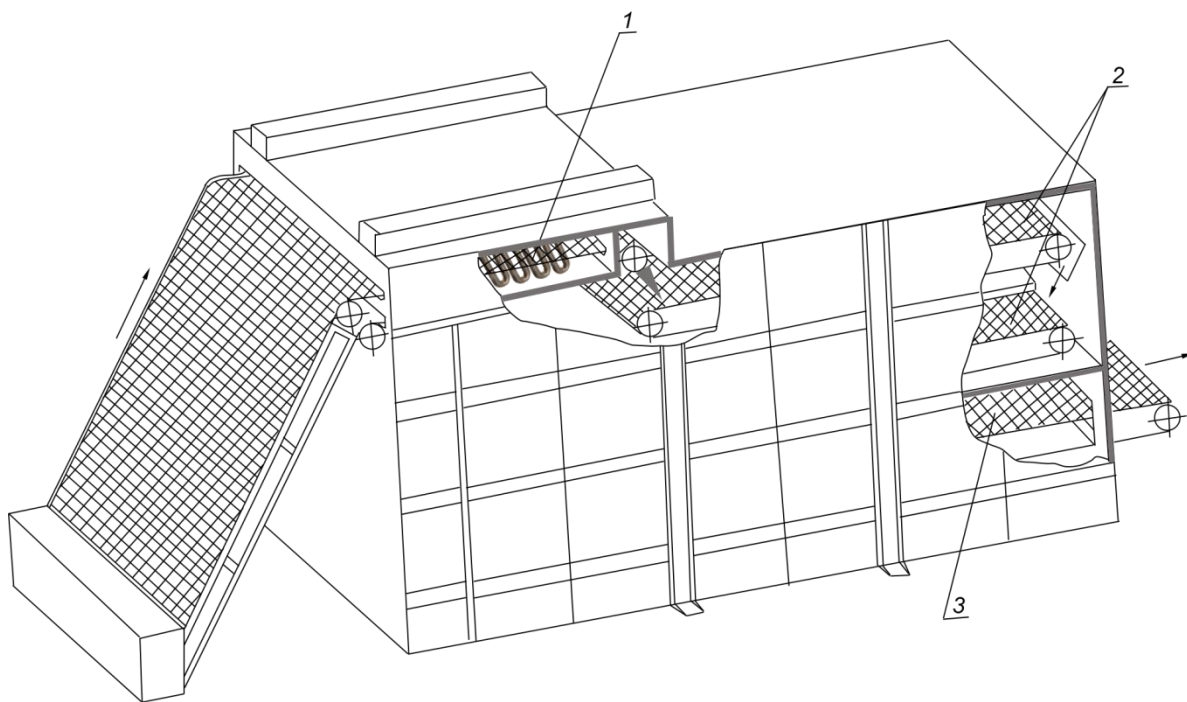
Технология сушки табака и сушильное оборудование постоянно совершенствуется и развивается. Основные тенденции развития сушильных установок можно охарактеризовать следующими особенностями: усложнением конструкций в связи с решением задач повышения экономической эффективности, развитием новых научных направлений, оказывающих влияние на способы энергоподвода к сушильному материалу с целью интенсификации тепло-и массообмена. Для этого используют различные методы энергоподвода: ИК-излучение и СВЧ-поле, в качестве сушильного агента влажного воздуха, магнитное поле [1].

Исследованиями, проведенными в ВНИИТТИ совместно с учеными МПИПП установлено, что основным преимуществом ИК и СВЧ энергоподводов является то, что в отличие от традиционных методов, при которых энергия аккумулируется на поверхности материала и распределяется к более глубоким слоям, при ИК и СВЧ энергоподводах тепло генерируется внутри материала. Это обеспечивает быстрое его нагревание по всему объему до технологически требуемой температуры.

На основании проведенных исследований разработана схема установки и режимы обработки вытомленного табака с использованием ИК-излучения для фиксации цвета листьев и последующей сушки (Леончик Б.И., Усачев С.Г., 1983) (рис.).

Установка представляет собой непрерывно действующую ленточную многоярусную сушилку на паровом обогреве и принудительной вентиляции воздуха, состоящей из зон фиксации 1, досушки 2, гигротермической обработки.

Установка работает следующим образом. Вытомленные табачные листья слоем 1...1,5 листа раскладывают на сетчатый транспортер, который подает их в зону фиксации и подсушки табака инфракрасным излучением.



1 – зона фиксации; 2 – зона досушки; 3 – зона гигротермической обработки
Рис. Схема сушильной установки с использованием для фиксации цвета
ИК - излучения

Генераторами ИК-излучения служат ТЭНы с отражателями из нержавеющей стали или полированного алюминия. Табак облучается сверху.

Фиксация цвета и подсушка табачных листьев осуществляется в две стадии. На первой – табак облучается потоком плотностью $(0,4...0,5) \cdot 10^4 \text{ Вт/м}^2$ в течение 50-60 с. На второй стадии плотность потока снижается до $(0,20...0,25) \cdot 10^4 \text{ Вт/м}^2$, длительность второй стадии 210...270 с.

В результате фиксации и подсушки табака ИК-излучением температура материала повышается до 60-80 °С, пластинка листа высыхает за 3,5-4 часа.

Из зоны фиксации и подсушки листья поступают с зону досушки. Слой табачных листьев на первом транспортере зоны досушки составляет ~ 80 мм.

Температура и относительная влажность воздуха, нагнетаемого в зону от воздухоприготовительных устройств, соответствует 70-80 °С, $\phi = 5-15 \%$. Продолжительность обработки на первом транспортере зоны досушки составляет 30-40 мин. Далее табак поступает на второй транспортер зоны досушки. Толщина слоя листьев увеличивается до 300 мм. Воздух, поступающий во вторую зону, имеет те же параметры. Относительность досушки составляет 1,5-2,5 часа. Отработанный воздух из всех зон установки отводится на рециркуляцию. Высушенный табак поступает в зону кондиционирования, а затем на сортировку.

Разработанный способ обработки на стадии фиксации цвета позволяет исключить период сушки пластинки, получить однородное табачное сырье со светлой окраской, дегустационная технологическая оценка которого не уступает сырью традиционного способа сушки.

Использование ИК-нагрева позволяет сократить продолжительность сушки листьев в установке на 20 %, исключить использование острого пара в

зоне фиксации существующей конвейерной установки (СФУ). Расход электроэнергии при этом составляет 1,2 кВт на 1 кг табака.

Известно, что высокочастотный нагрев (СВЧ) капиллярно-пористых материалов, каким является табак, основан на смещении зарядов и молекул при воздействии на них переменного поля. Возникающие внутренние источники тепла обуславливают быстрое, равномерное нагревание материала по всему объему. Тепло выделяется только в обрабатываемом материале, а окружающая среда остается относительно холодной.

Использование СВЧ при сушке приводит к тому, что направление потоков тепла и влаги совпадают, что ускоряет течение процесса [2].

При этом больше нагреваются участки листьев, имеющие более высокое содержание влаги. Количество потребляемой энергии сокращается по мере высушивания продукта. Скорость образования пара в объеме листьев табака может превышать скорость его удаления. В результате в клетках и межклеточном пространстве возникает избыточное давление пара, которое может привести к разрушению структуры ткани листа. Поэтому у листьев табака наблюдается увеличение объема.

Установлено, что влагосодержание вытомленных листьев оказывает влияние на продолжительность обработки, окраску сырья и изменение объема ткани листа.

В качестве материала использовали листья сорта табака Юбилейный вытомленный в гармане ($U \geq 6,2$ кг/кг) и с активным вентилированием ($U \leq 3,4$ кг/кг). Обработку листьев табака проводили в СВЧ-полях стоячих волн, возбуждаемое при частоте $f = 2000...3000$ МГц, потребляемая мощность 700...1400 Вт.

При этом, мощность тепловыделения оценивается известной зависимостью:

$$P_c = 0,55 \cdot 10^{-10} \cdot f \cdot E_{\text{эф}} \cdot \sum E_{\gamma}^{11}, \text{Вт/м}^2$$

где $E_{\text{эф}}$ – эффективная напряженность электрической составляющей поля, В/М;

$\sum E_{\gamma}^{11}$ – сумма факторов потерь /коэффициент поглощения/ свободной и связанной влаги.

Экспериментальные данные по нагреванию и сушке табачных листьев показали, что в начальный период ($\tau \leq 1$ мин.) темп нагревания табачных листьев максимальный, а затем, по мере убыли влаги, темп нагрева материала снижается.

Продолжительность обработки в слое 1...1,5 листа с целью фиксации цвета составляет 3...5 мин. Влагосодержание при этом снижается до 1,9...2,5 кг/кг. Табачные листья сохраняют светлую, яркую окраску. Равномерность влагосодержания отдельных частей листа значительно повышается.

При увеличении слоя в 7-11 листьев продолжительность обработки составила 6...7 мин., температура в центре слоя 81...85 °С, значение которой наиболее благоприятно для инактивации ферментного комплекса (Наливко Г.В., 1969). За этот период пластинка листа высыхает. Жилку досушивают при $t = 80$ °С, $U = 5...10$ % при конвективном энергоподводе.

Установлено увеличение объема пластинки и жилки у листьев с повышенным влагосодержанием ($U \geq 6,2$ кг/кг), визуально это явление имеет следующий вид: между кутикулами ткани листа образуется пузырь, а у жилки по всей её длине наблюдается вздутия в виде рисинок. Окраска листа сохраняется, но имеет стекловидность.

У листьев с влагосодержанием ниже 3,0 кг/кг увеличение объема пластинки и жилки не выявлено. Окраска листьев яркая, ровная.

Впервые в институте установлена эффективность обработки свежесобраных листьев постоянным магнитным полем (Монастырева А.М., 2012). Использование этого метода позволяет ускорить влагоотдачу, особенно из средней жилки через листовую пластинку листа, увеличить количество удаляемой влаги при томлении до 42 % и сократить продолжительность сушки.

Магнитное поле создается над движущимся слоем табака набором с постоянными магнитами с соблюдением чередования полюсов, при этом один из полюсов каждого магнита направлен в сторону обрабатываемого табака. Расстояние между магнитами 11 см, до обрабатываемого табака 15 см, скорость движения транспортера один м/с. Напряженность магнитного поля от 0 до 40 эрстэд, время воздействия магнитного поля на свежесобраный табак составляет 2 с.

После обработки продолжительность томления снижается на 35 %, а массовая доля никотина – на 21,13 %, убыль влаги возрастает до 39,71-42,13 %, а снижение кислородного показателя после сушки, позволяет провести ферментацию сырья с меньшими энергетическими затратами.

Таким образом, проведенный мониторинг имеющихся литературных данных и проведенных исследований свидетельствует о том, что все вышеперечисленные методы энергоподвода справедливы для одиночных листьев.

Использование для сушки табака высокотемпературного ($t \geq 100$ °C) агента с высоким влагосодержанием ($d \geq 635$ г/кг) позволяет увеличить массу одновременно обрабатываемого табака (в контейнерах до 200 кг), создать принципиально новую технологию [3,4,5,6].

Воздействие на вытомленный табак, имеющим влагосодержание 2-2,5 кг/кг высокотемпературным агентом с высоким влагосодержанием (паротермическая обработка – ПО) позволяет за короткий промежуток времени (3 мин.) повысить температуру материала до 80-82 °C, коэффициент диффузии влаги (α_m), воздействовать на структуру ткани листьев. Это способствует увеличению скорости удаления влаги и активации ферментного комплекса, сохранению окраски вытомленных листьев, получить сырье пониженной токсичности, соответствующего ферментированному (табл.).

По данным ведомственных испытаний установлено, что по сравнению с непрерывным способом сушки и ферментации в конвейерных установках, применение паротермической обработки при комбинированной сушке табака позволяет повысить производительность труда на 38,5 %, а искусственной сушке табака в плотной массе увеличить производительность установки за 1 час сменного времени более, чем в два раза (96 кг против 38-45 кг), снизить затраты труда на 71 %, удельный расход тепла на 5-10 %.

**Показатели качества сырья различных способов
послеуборочной обработки табака**

Показатели качества сырья	Технология послеуборочной обработки	
	новая	существующая
Никотин, мг/1 сигарету	1,65	2,11
Сухой конденсат, мг/1 сигарету	28,7	39,2
СО ₁ МГ/1 сигарету	20,8	24,8
Сумма баллов по вкусу и аромату, балл	39,2	38,5
Условный расход, г на 1000 шт. папирос 30 формата	578,0	610,0
Кислородный показатель, мл О ₂ /г табака	0,07	0,06

Таким образом, в результате проведенных комплексных исследований установлено:

- применение ИК излучения и СВЧ поля, магнитного поля эффективно в период фиксации цвета одиночных листьев, использование которых позволяет объединить периоды фиксации цвета и сушки пластинки листа табака в один процесс;
- использование высокотемпературного агента с повышенным влагосодержанием для фиксации цвета листьев позволяет увеличить объем единовременного обрабатывания табака, создать высокопроизводительное поточное производство для получения ферментированного табачного сырья в аграрном секторе АПК.

Литература

1. Данилов, О.П. Экономия энергии при тепловой обработке /О.П. Данилов, Б.А. Леончик.- М.: Энергоиздат, 1986.-136 с.
2. Усачев, С.Г. Гигротермическая обработка листового табака с применением ИК и СВЧ – излучения / С.Г. Усачев: автореф. дис...канд. техн. наук.- М., 1983.- 21 с.
3. Пестова, Л.П. Сушка крупнолистных табаков с применением паротермической обработки / Л.П. Пестова: автореф. дис...канд. техн. наук.- Краснодар, 1991.- 25 с.
4. Патент №485082/РФ/. Способ послеуборочной обработки табака /А.И. Петрий, А.М. Темирдаров, А.Е. Лысенко, И.И. Дьячкин, И.В. Сафронова, Л.П. Пестова.- Заяв. 17.01.2000; опубл. 20.07.2002.
5. Пестова, Л.П. Технология производства конкурентоспособного табачного сырья на основе использования кратковременной паротермической обработки вытомленных табачных листьев / Л.П. Пестова, А.И. Петрий // Развитие и совершенствование инновационных исследований и разработок для научного обеспечения табачного агропромышленного производства России. Коллективная монография / под ред. В.А. Саломатина/ Сб. науч. тр. Все-

росс. науч.-исслед. ин-та табака, махорки и табачных изделий.- Краснодар: Просвещение-Юг, 2012. - №180.- С. 143-150.

6. Пестова, Л.П. Интенсификация процесса искусственной сушки табака в плотной массе с применением паротермической обработки / Л.П. Пестова, Е.И. Винецкий// Электронный научный журнала «APRIORI».- Серия: «Естественные и технические науки».- 2015.- №2.