

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СУШКИ ТАБАКА С ПРИМЕНЕНИЕМ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЙ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ СПОСОБЕ

Чернов А.В., Пестова Л.П., канд. техн. наук.

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

Аннотация. Установлена эффективность применения СВЧ-излучения для комбинированного способа сушки табака. Изучены способы подготовки табака к сушке. Определены параметры влагосодержания, режимы обработки и сушки высокого товарного качества табака, позволяющие получить сырье с пониженной токсичностью.

Сушка табака – наиболее ответственный технологический процесс в задаче которого входит не только удаление влаги из листьев до требуемого технологического уровня, но и обеспечение физико-биохимических изменений их состава для получения сырья высокого качества и курительных свойств.

Технология сушки и сушильное оборудование постоянно совершенствуется и развивается. Основные тенденции развития сушильных установок можно охарактеризовать следующими особенностями: усложнение конструкции, в связи с повышением задач экономической эффективности; развитие новых научных направлений, оказывающих влияние на способы энергоподвода к сушильному материалу с целью интенсификации тепло- и массообмена.

Для интенсификации процесса сушки используют различные методы энергоподвода: высокие температуры, ИК-излучение и СВЧ-поле [1,2,3,4,5,6].

Исследованиями, проведенными в институте совместно с учеными МТИПП, установлено, что основным преимуществом ИК и СВЧ энергоподводов, в отличие от традиционных методов, при которых энергия аккумулируется на поверхности материала и распространяется к более глубоким слоям, при ИК и СВЧ энергоподводах тепло генерируется внутри материала. При этом происходит быстрое его нагревание по всему объему до технологически требуемой температуры, инактивация ферментного комплекса, фиксация окраски вытопленного табака. Высокие скорости нагрева материала позволяют резко повысить коэффициент диффузии влаги и скорость ее удаления [1,2].

В научной литературе известен способ обработки микроволновым излучением листьев табака с целью снижения содержания и предотвращения образования в них канцерогенных веществ – нитрозаминов. Использование этого метода позволяет получить высушенные листья золотисто-желтой окраски, характеризующиеся почти полным отсутствием канцерогенных веществ (NNN и NNK) по сравнению с табаком традиционной сушки [7].

Согласно этому источнику в свежесобранных листьях нитрозамин не содержится, а образуется в процессе сушки. Снизить его содержание возможно за счет ускорения процесса сушки и обработки бурого табака воздухом с темпера-

турой 70⁰ С, после потери целостности клетки, т.е. способом досушки. Быстрое высушивание табака в этой стадии снижает активность микроорганизмов, которая характерна при медленной сушке в условиях атмосферного воздуха (естественной сушке).

В первом случае, ускорить процесс сушки возможно обработкой вытомленного табака СВЧ-излучением, а также применением физических методов воздействия на среднюю жилку: прорезание и расплющивание перед обработкой СВЧ-излучением. Такая обработка табака повышает равномерность сушки листьев, блокирует естественное образование нитрозаминов и обеспечивает получение сырья желтой окраски.

Показано, что на образование нитрозаминов влияет ботанический сорт табака, условия его выращивания, зрелость листьев, условия сушки и активность микроорганизмов. Их активность увеличивается после прохождения стадии томления, когда клеточная структура разрушена и питательные вещества доступны для микроорганизмов. Они могут вырабатывать нитраты в благоприятных условиях с высокой влажностью воздуха. Блокировать этот процесс возможно, если обработку вытомленных желтых листьев проводить при потере ими от 40 до 70% массы.

Таким образом, имеющиеся литературные данные свидетельствуют о том, что использование СВЧ-излучения позволяет не только ускорить тепло-массообмен при сушке табака, но и получить сырье с пониженной токсичностью.

В связи с этим ставились задачи:

- уточнить параметры подготовки табака к сушке с применением СВЧ-излучения;
- уточнить параметры обработки табака СВЧ-излучением и последующей его сушки;
- заготовить образцы табака для определения содержания нитрозамина в сырье, высушенном с применением СВЧ-излучения.

Материалом для проведения опытов служил табак ботанического сорта Крупнолистный Ильский и Шептальский 83 пятой ломки, убранный в состоянии технической зрелости, выращенный на экспериментальном участке института.

Учитывая, что при обработке влажных капиллярно-пористых тканей, каким является табак в поле СВЧ-излучения, тепло выделяется за счет поглощения энергии СВЧ-поля молекулами воды и больше нагреваются участки, имеющие более высокое влагосодержание, для получения листьев с меньшим показателем, табак вытамливали в гармине и с активным вентилированием в подвешенном состоянии.

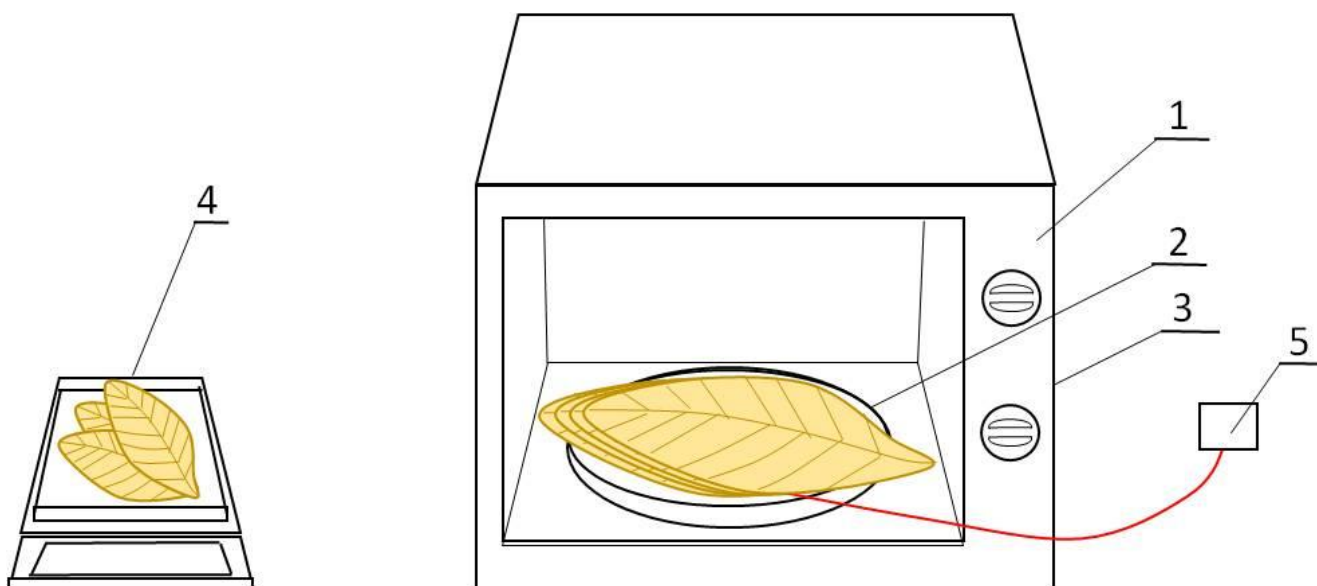
Обработку вытомленных листьев проводили в микроволновой печи марки ММВ-2308С. Листья и его части (пластинки и жилки) помещали в электромагнитное поле стоячих волн СВЧ диапазона, возбуждаемое на частоте 2000...3500 МГц и подвергали воздействию СВЧ-излучения в соответствии с заданным временем. Потребляемая мощность 700...1400 Вт.

При проведении исследований учитывали:

- влажность и массу табака до и после обработки СВЧ-излучением;
- окраску листьев до и после обработки СВЧ-излучением сухих листьев;
- температуру табака;
- продолжительность обработки СВЧ-излучением и последующей сушки.

Все показатели учитывали и определяли методами, принятыми в институте.

Схема установки для изучения нагрева табачных листьев в поле СВЧ-излучения представлена на рисунке 1.



1 – микроволновая печь; 2 – подставка; 3 – лист табака; 4 – весы электронные; 5 – термометр электронный

Рисунок 1. Схема установки для исследований нагрева табачного листа в поле СВЧ

На первом этапе проведена серия опытов с одним сортом с целью определения продолжительности обработки (τ) табака до полного его высушивания в поле СВЧ как целых листьев, так и его частей (пластинки и жилки). Причем, жилки предварительно подвергали механическим повреждениям - прорезанию и плющению.

Установлена прямая зависимость между уровнем влагосодержания и продолжительностью обработки в поле СВЧ. Результаты исследования представлены в табл. 1, 2 и на рис. 2, 3, 4.

Опыт 1. Обработка листьев, имеющих влагосодержание $U \leq 3,5$ кг/кг.

Таблица 1

Влияние влагосодержания табака на продолжительность сушки листьев и их частей в поле СВЧ-излучения ($U \leq 3,5$ кг/кг)

Вариант опыта	Продолжительность сушки, мин.	Состояние табака: пластинки и жилки, их окраски
1. Одинарный слой: целые листья	6,5	Лист сухой, окраска желтая, ровная с оранжевым оттенком
пластинки без жилок	2,5	Пластинка сухая, окраска желтая ровная с оранжевым оттенком
жилки:		
-неповрежденные	4	Сухие, желтые, слабое увеличение объема
-расплющенные	3,5	Сухие, желтые
-прорезанные	3	Сухие, желтые
2.Слой из 15 шт. в пачке отделенных от жилок пластинок	4,5	Пластинки сухие, окраска яркая, желтая, внутри пачки влага, которая мгновенно испарилась при нарушении пачки



Рисунок 2. а), б) Половинки листьев, вытопленные в подвешенном состоянии, высушенные в микроволновой печи с применением СВЧ - излучения

Опыт 2. Листья вытопленные в гармане, имеющие влагосодержание $U \geq 5,5$ кг/кг.

Таблица 2

Влияние влагосодержания табака на продолжительность сушки листьев и их частей в поле СВЧ излучения ($U \geq 5,5$ кг/кг)

Варианты опыта	Продолжительность сушки, мин	Состояние табака: пластинки и жилки, их окраска
1. Одинарный слой: целые листья	9	Лист сухой, основной фон желтый с оттенком светлой зелени
пластинки без жилок	2,5	Сухая, окраска желтая с оттенком светлой зелени
Жилки: неповрежденные	9	Сухая, увеличение объема по всей длине
расплющенные	6*	Сухая
прорезанные	5*	Сухая
2. Слой из 5 листьев в пачке	11	Листья сухие, окраска желтая с помутнением, у некоторых пластинок увеличение объема

* - у поврежденных жилок увеличение объема не наблюдалось



а)

б)

Рисунок 3. а), б) Листья, вытомленные в гармане, высушенные в микроволновой печи с применением СВЧ - излучения

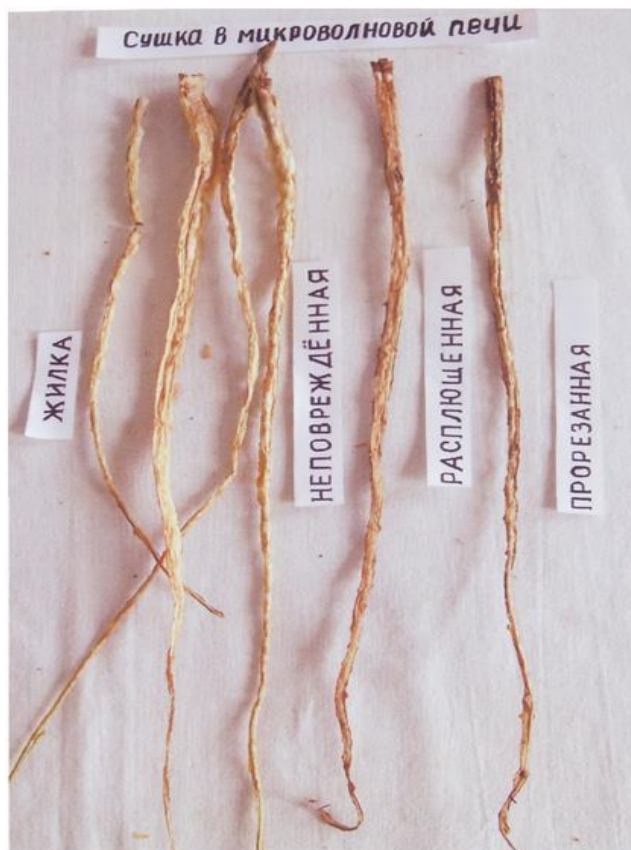


Рисунок 4. Жилки, с применением различных способов механического воздействия, высушенные в поле СВЧ-излучения

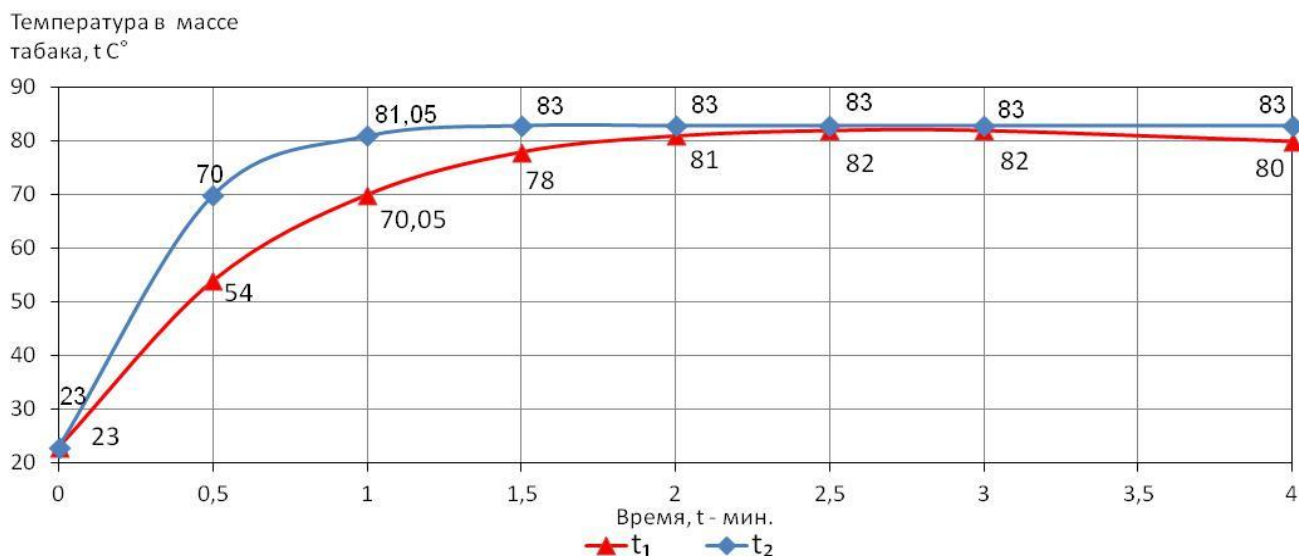
Результаты полученных исследований позволили установить особенности сушки листьев и его частей с различным влагосодержанием в поле СВЧ-излучения. Так, листья с высоким влагосодержанием при нагревании имели более высокую температуру и у них наблюдалось увеличение объема. Это объясняется тем, что более влажные материалы и их участки нагреваются сильнее [8]. Это подтверждает температурная кривая на рис. 5. Скорость образования пара в объеме материала превышает его удаление. В результате в клетках, порах капиллярно-пористого тела возникает избыточное давление пара, которое может привести к разрушению структуры ткани и увеличению объема пластинки и жилки.

Наилучшие результаты получены для табака с более низким влагосодержанием. Это позволяет получить сырье яркой окраски, снизить продолжительность обработки в поле СВЧ в 1,6 раза, а при раздельной сушке листьев – увеличить слой обрабатываемого табака до 15 шт. в пачке.

Установлено, что обработка листьев в поле СВЧ позволяет объединить процессы сушки пластинки и жилки более эффективно, чем при конвективной сушке.

Повреждения жилок вытомленных листьев перед обработкой СВЧ-излучением повышает равномерность высушивания листьев и сокращает продолжительность этого периода в 1,5 раза по сравнению с традиционной сушкой, где досушка жилки составляет 24-36 часов.

В ходе исследований проведена серия опытов с целью определения места использования СВЧ-излучения при сушке табака.



t₁ – температурная кривая при $U \leq 3,5$ кг/кг;

t₂ – температурная кривая при $U \geq 5,5$ кг/кг

Рисунок 5. Температурные кривые табачных листьев в слое 10 шт. при СВЧ энергоподводе

В ходе исследований установлено, что наиболее эффективно применять этот способ для фиксации цвета вытомленных листьев, а досушку проводить конвективным способом.

Опыт 3. Определить продолжительность фиксации цвета листьев табака в поле СВЧ-излучения.

При проведении опытов использовали листья табака ботанических сортов - Шептальский 83 и Крупнолистный Ильский, влагосодержание составило $U \leq 3,5$ кг/кг.

При обработке листьев в слое в один лист в течение 2,5 минут пластинка полностью высохла и имела желтую, яркую окраску, а на досушку жилки потребовалось затратить еще 2 мин, общая продолжительность обработки составила 4,5 минуты.

Обработка листьев в слое 5 шт. в течение 2,5 минут позволила получить сухие пластинки.

Приведенные данные позволяют сделать вывод, что при обработке листьев в поле СВЧ за 2,5 мин пластинки высыхают, а жилки требуют дополнительного времени на досушку. В поле СВЧ - это нецелесообразно. Досушка жилки в искусственных условиях при $t=70^{\circ}$ C позволила, в зависимости от размера жилки, получить сухие листья ровной окраски за 70-150 мин.

Экспериментальные данные по нагреванию и сушке табачных листьев показали, что в начальный период ($\tau \leq$ одной мин) темп нагревания табачных листьев максимальный, а затем по мере убыли влаги темп нагрева материала снижается (рис. 5).

Продолжительность обработки в слое 1...2 листа с целью фиксации цвета составляет 2...2,5 мин. Влагосодержание при этом снижается до 1,9...2,5 кг/кг.

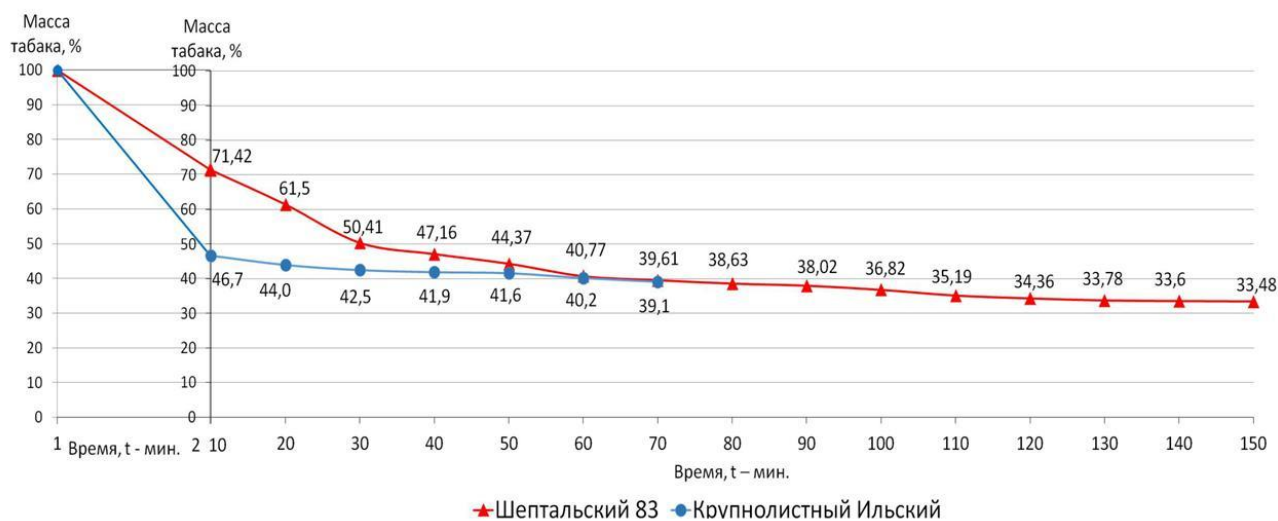


Рисунок 6. Влияние комбинированного применения высокочастотного нагрева на продолжительность сушки листьев разных сортов

При увеличении слоя в 5-15 листьев продолжительность обработки составила 6-11 минут, температура в центре слоя 81...85⁰ С, значение которой наиболее благоприятно для инактивации ферментного комплекса [5]. За этот период пластинка листа высыхает. Жилку досушивают при t=70⁰ С, φ= 5...10% при конвективном энергоподводе.

Установлено увеличение объема пластинки и жилки у листьев с повышенным влагосодержанием ($U \geq 5,5$ кг/кг), визуально это явление имеет следующий вид: между кутикулами ткани образуется пузырь, а у жилки по всей ее длине наблюдается увеличение объема в виде рисинок. Окраска листа сохраняется, но имеет стекловидность. Жилки с измененной структурой ткани могут быть использованы в промышленности при получении взорванной жилки.

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

Продолжительность досушки листьев табака при t=70⁰ С после СВЧ обработки составляет от 2 до 4 часов, в зависимости от ее размера. Применение СВЧ –излучения позволяет в 9...12 раз сократить этот период.

Таким образом, на основании проведенных исследований, можно сделать следующие выводы:

1. Установлено, что СВЧ-излучение эффективно применять для фиксации цвета листьев, а досушку средней жилки проводить конвективным способом (t=70⁰ С). Продолжительность досушки зависит от размера центральной жилки. Для листьев средних размеров она составляет 80-100 мин, для крупнолистных табаков 120-150 мин.

2. Предлагается следующая технология способа сушки листьев с использованием СВЧ-излучения:

- томление листьев проводят в подвешенном состоянии или с активным вентилярованием воздуха до максимального пожелтения и убыли массы не менее 50%, а влагосодержание листьев составляет 2,0-3,5 кг/кг;
- обработку в поле СВЧ проводить в течение 2-2,5 мин;
- досушку жилок конвективным способом при $t=70^{\circ}\text{C}$, $\varphi=30\dots40\%$ в течение 80-180 мин в зависимости от размера жилки.

Использование данной технологии позволяет получить сырье высокого качества и пониженной токсичности [2].

Литература

1. Данилов О. П. Экономия энергии при тепловой сушке/ О.П. Данилов, Б.Л. Леончик. - М.: Энергоиздат, 1986. - 136с.
2. Усачев С.Г. Гидротермическая обработка листового табака с применением ИК и СВЧ-излучений/ Усачев Сергей Григорьевич: автореф. дис... канд. техн. наук. – М.:, 1983,
3. Сазыкин Г.В. Исследование индуктивных термо радиационных излучателей применительно к процессу высокотемпературной сушки табака/ Сазыкин Георгий Владимирович: автореф. дис... канд. техн. наук. – Челябинск, 1981. – 19с.
4. Наливко Г.В. Особенности формирования окраски табака при высокотемпературной сушке/Г.В. Наливко, А.И. Петрий // Сб. НИР ВИТИМ. – Краснодар, 1971. - Вып. 157. – С.93-99.
5. Наливко Г.В. Непрерывный способ послеурожайной обработки табака/ Г.В. Наливко // Сб. НИР ВИТИМ, - Краснодар, 1969. - Вып. 154. - С. 151-180.
6. Пестова Л.П. Сушка крупнолистных табаков с применением паротермической обработки/ Пестова Людмила Петровна: автореф. дис.... канд. техн. наук. – Краснодар, 1991. – 25с.
7. Патент Евразийский N 002448 US A 24B 3/10, 3/8, 15/00, 15/22 A 24 F 47/00. Способ обработки табака для снижения содержания нитрозоаминов и продукты, полученные этим способом/ Вильямс Джонн Р. – N 2000000053; опубл. 2002.04.25.
8. Стабников С.Н. Процессы и аппараты пищевых производств/ С.Н. Стабников, В.М. Лысянский, В.Д. Попов. - М.: Агропромиздат, 1985. –С.357-359.
9. Пестова Л.П., Способы интенсификации тепло-и массопереноса при сушке табака / Л.П. Пестова, А.И. Петрий, В.А. Саломатин, Е.И. Винецкий [Электронный ресурс] // Инновационные исследования и разработки для научного обеспечения производства и хранения экологически безопасной сельскохозяйственной и пищевой продукции: сб. матер. II Междунар. науч.-практ. конф. (05-26 июня 2017 г., г. Краснодар). С.330-334. URL: http://vniitti.ru/conf/conf2017/sbornik_conf2017.pdf