

УДК 663.97.051

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ИСКУССТВЕННОЙ СУШКИ ТАБАКА В ПЛОТНОЙ МАССЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПАРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Пестова Людмила Петровна

канд. тех. наук

Виневский Евгений Иванович

д-р тех. наук

Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки
и табачных изделий, Краснодар

author@apriori-journal.ru

Аннотация. Разработана новая технология производства ферментированного табачного сырья в аграрном секторе АПК с применением паротермической обработки. Паротермическая обработка является эффективным способом увеличения скорости удаления влаги из тканей листа и инактивации ферментного комплекса.

Ключевые слова: табак; сушка; паротермическая обработка; плотная масса.

UTILIZATION OF STEAM AND THERMAL TREATMENT FOR INTENSIFICATION OF BULK TOBACCO CURING

Pestova Lyudmila Petrovna

candidate of technical sciences

Vinevskii Evgenii Ivanovich

doctor of technical sciences

All-Russian research institute of tobacco, makhorka and tobacco products

Krasnodar

Abstract. New technology for fermented tobacco production in agricultural branch utilizing steam and thermal treatment is developed. Steam and thermal treatment is efficient way for increasing intensity of moisture removal from tobacco lamina and inactivation leaf enzymes.

Key words: tobacco; curing; steam and thermal treatment; bulk tobacco.

Производство табачного сырья отличается от производства растительного сырья других культур. После уборки листьев с растений табака проводятся их сушка для получения сырья, затем его хранение, сортировка и упаковка. Готовое сырье отправляют на фабрики для дальнейшей переработки.

Высушивают табак в естественных условиях (на солнце или в тени), комбинированным (полусушка и досушка) и искусственным способами [1-2].

Наибольшее распространение в мировой практике получил искусственный способ сушки в кассетах, контейнерах, для чего используют сушилки типа «Балк-Кюринг» [3].

Основными преимуществами этого способа сушки являются: исключение нанизывания листьев на шнуры, резкое увеличение объемной загрузки камеры, снижение трудозатрат. Листья табака, убранные вручную, загружают в кассеты ориентировано, а механизированным способом – в неориентированном состоянии в контейнеры и размещают в камерах, оснащенных системой обогрева и искусственной вентиляцией (СТМ-60, 801-ТУ, УСТП-10, УС-8).

Практика производства табачного сырья свидетельствует о экономической целесообразности использования контейнеров для сушки табака, особенно механизированной уборки, так как загрузка кассет неориентированным табачным листом и последующая его сушка увеличивают потери от выпадения незакрепленных иглами листьев, продолжительность сушки (на 20-30 %), расход топлива и электроэнергии. Сушка табака в контейнерах позволяют сократить трудовые затраты на подготовку к сушке на 25-30 % по сравнению с использованием кассет, механизировать все операции по загрузке табака в контейнеры, равномерно распределить табак как в контейнере, так и в сушильной камере, снизить потери сырья [4; 5].

Сушка табака отечественных сортов в плотной массе, особенно желтолистных форм интенсивного типа созревания (Юбилейный, Иммунный 580, Остролист 75, Вирджиния 202), позволяет получить до 90-95 % сырья первого товарного сорта желтой окраски.

Многочисленные исследования, проведенные в нашей стране и за рубежом, показывают, что для всех наиболее широко распространенных сортов табака при искусственной сушке используются следующие технологические режимы (табл. 1).

На протяжении многих лет эти режимы не менялись.

На основе научных исследований и их результатов были осуществлены новые разработки по интенсификации процессов сушки табака, повышению качества табачного сырья и снижению затрат на его произ-

водство [1]. Для ускорения влагоотдачи и пожелтения листьев в процессе томления было рекомендовано предварительное прогревание листьев табака при полной вентиляции в течении четырех часов воздухом, имеющем температуру $40 \pm 1^\circ\text{C}$ и относительную влажность 10-20 %; проведение досушки жилки – при температуре $70-75^\circ\text{C}$, совместив её с ферментацией за счет повышения относительной влажности воздуха до $75 \pm 2\%$ за 8-10 часов до окончания процесса сушки.

Таблица 1

Технологические режимы сушки табака

Фаза сушки	Температура, $t^\circ\text{C}$	Влажность, $\varphi/\%$	Время, ч
Томление	35-38	75-85	48-72
Фиксация	40-47	50-65	24-36
Сушка пластинки	50-55	30-60	35-40
Досушка жилки	70-80	15-20	24-48

В то же время, благодаря исследованиям, проведенным Г.П. Волгуновым, А.Г. Петренко, Г.В. Наливко и др. [1; 6] получили свое развитие исследования по использованию высоких температур ($t \geq 120 \pm 1^\circ\text{C}$) и высоковлажного агента ($d \geq 250$ г/кг) при обработке вытомленных листьев для ускорения процесса сушки табака. По результатам их были разработаны технология и оборудование для производства ферментированного табачного сырья в непрерывном потоке.

Отличительной особенностью этой технологии послеуборочной обработки табака является использование высокотемпературного ($t \geq 120^\circ\text{C}$) и высоковлажного ($d \geq 250$ г/кг) агента при обработке вытомленного табака и объединения процессов сушки и ферментации табака в единый технологический процесс, что позволило, по сравнению с ранее существующими способами сушки и ферментации снизить затраты труда в 1,5-1,8 раза, продолжительность сушки и ферментации в

2,5-3 раза [6; 7], обеспечить получение 75 % сырья первого товарного сорта, уменьшить почти в 2 раза невозвратимые потери сырья.

Однако, несмотря на значительное сокращение продолжительности процессов послеуборочной обработки табака, экономия тепловой энергии при производстве ферментированного сырья не превысила 5 %, т.к. более 30 % их расхода имели место при обработке вытомленных листьев в слое толщиной 1,5-2 листа, т.е. при малой их концентрации.

Известны другие методы энергоподвода, позволяющие интенсифицировать процесс сушки табака: СВЧ, ИК и механическое повреждение средних жилок, но ни один из этих методов не нашел широкого применения, т.к. обработке подверглись одиночные вытомленные листья, что определило производительность установок.

Анализируя имеющиеся данные можно предположить, что наиболее эффективным способом фиксации вытомленных листьев является паротермическая обработка. Суть её заключается в следующем:

На основании работ А.И. Смирнова, П.Г. Асмаева, М.Г. Загоруйко, Г.В. Наливко, А.С. Гинзбурга, А.В. Лыкова, механизм интенсивного испарения влаги после ПО можно объяснить следующим образом [1; 2; 6-8].

Во время томления расхождение листьями воды совершается в процессе транспирации. На рисунке представлено схематически вертикальное сечение вершины листовой пластинки в продольном направлении; пунктирными линиями показано давление водяных паров у поверхности листа.

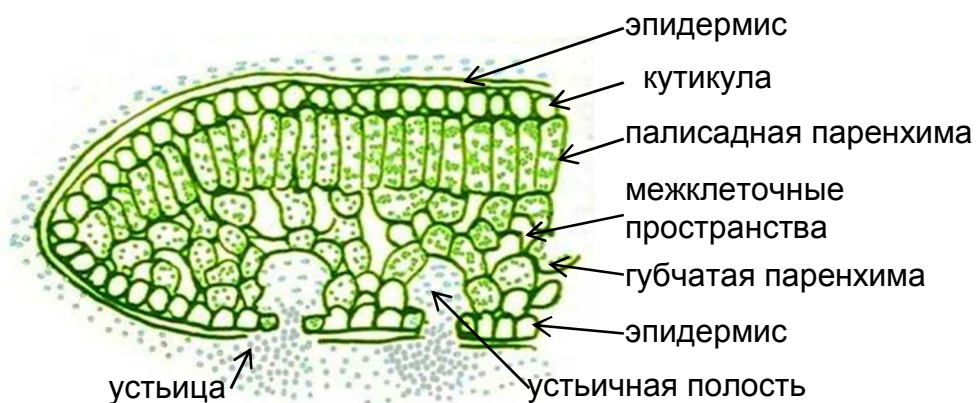


Рис. 1. Вертикальное сечение вершины листовой пластинки

В районе устьиц (внизу) пунктирные линии дальше отходят от листовой поверхности, указывая на значительно меньшую скорость кутикулярной транспирации по сравнению с устьичной.

К концу томления, вследствие понижения тургора, при нарастании водного дефицита, испарение с поверхности клеточных оболочек, ограничивающих межклеточники листьев, ослабляется, что влечет за собой понижение в устьичных полостях давления водяного пара. Ослаблению транспирации способствует сужение устьичных щелей. Сопротивление будет сохраняться, пока структура плазмы остается ненарушенной. Лишь по мере отмирания живых клеток табачных листьев плазматический слой теряет свою полупроницаемость. С этого момента потеря воды листьями усиливается.

После разрушения структуры живых листьев физиологические процессы сменяются автоматическими. Если оставшаяся в табачных листьях после томления вода недостаточно быстро и полно удаляется, листья темнеют, в них протекают реакции, приводящие к дальнейшему изменению состава листьев.

Ускорить процесс обезвоживания листьев позволяет применение паротермической обработки, при которой, вероятно, происходит структурная деформация протопласта, приводящая к высвобождению связанной воды, что в совокупности с увеличением пропускной способности оболочек клеток, обеспечивает быстрое испарение влаги, т.е. происходит смена испарения влаги за счет транспирации на физическое испарение.

При паротермической обработке достигается эффективный подвод тепла к табаку в виде пара, легко проникающего в межклеточное пространство, где он конденсируется, отдавая тепло с требуемой равномерностью, углубляя зону испарения. Известно, что при конденсации пара происходит самая высокая интенсивность испарения [6; 8].

Паротермическая обработка позволяет за короткий промежуток времени повысить температуру материала, увеличить коэффициент

диффузии влаги (α_m). Это способствует увеличению скорости удаления влаги из ткани листа и инактивации ферментного комплекса.

По расчетам наибольший экономический эффект может быть достигнут при равномерном размещении малогабаритной камеры в технологическом потоке при сушке табака в плотной массе. Научные исследования были направлены на разработку технологии искусственной сушки табака в кассетах и контейнерах с применением паротермической обработки [6; 7]. Анализ полученных экспериментальных данных позволил установить особенности паротермической обработки. Установлено, что оптимальный технологический режим, характеризующий получение сырья определенного качества, должен обеспечиваться по характеристике сушильного агента непосредственно в массе табака. Наибольшие изменения в окраске листьев происходят при температуре материала 40-45 °С. С увеличением значения этого показателя создаются благоприятные условия для фиксации окраски листьев, которая в процессе последующего высушивания не изменяется. Наилучшие результаты были получены при $t_c = 100-120$ °С, $t_m = 80-82$ °С.

Данные по качественной оценке и формированию окраски свидетельствуют о том, что при указанных параметрах сырьё характеризуется меньшим содержанием никотина, больше содержит углеводов, лучшими технологическими свойствами. Кислородный показатель достигает величины сферментированного сырья.

Совместное рассмотрение температурных и кривых сушки листьев табака определило особенности формирования их окраски при различных режимах. Режим, где $t_c = 90-120$ °С; $t_m = 80-82$ °С принято называть «мокрым», а режим, где $t_c = 90-120$ °С; $t_m = 42-45$ °С – «сухим».

Установлено, что концентрация массы табака и скорость движения паровоздушной смеси влияют на продолжительность прогревания табака до заданной температуры и массу воды, образующейся в межлистном пространстве и скорость её удаления. Чем выше концентрация табака,

тем более длителен процесс прогрева и меньше масса воды, удаляемой из межлиственного пространства.

Если выделившаяся вода из межлиственного пространства не будет удалена своевременно, возможно усиление риска снижения товарного качества сырья.

Для исключения выявленного явления рекомендовано послеуборочную обработку проводить в два этапа. На первом этапе температура паровоздушной смеси должна быть $t \geq 120$ °С, а её влагосодержание – $d \geq 250$ г/м³, скорость движения воздуха $v \geq 0,5$ м/с, время продувания $\tau = 15$ мин.

На втором этапе при той же температуре, скорости движения воздуха и продолжительности обработки быстро снижается влагосодержание смеси до 40-50 г/м³ за счет отключения острого пара.

Совместное рассмотрение кривых сушки и температурных кривых показало, что температура в массе табака и материала в первом периоде устанавливается на уровне температуры мокрого термометра (период постоянной скорости сушки) и остается постоянной в течение всего первого периода, во втором периоде резко снижается, а затем начинает расти и только к концу процесса достигает температуры 47-50 °С.

Для приблизительного расчета кинетики теплообмена установлена зависимость между критерием Ребиндера и влагосодержанием табака, которая может быть описана уравнение вида:

$$R_b = -1,7_{exp} [-0,65 (\bar{u} - u_1)], \quad (1)$$

где R_b – критерий Ребиндера, представляющий собой соотношение теплоты на нагревание табака к теплоте на испарение влаги [8];

–1,7 и –0,65 – эмпирические коэффициенты;

\bar{u} – влагосодержание табака до обработки;

u_1 – влагосодержание табака после обработки.

Полученная зависимость R_b от влагосодержания позволяет рассчитать температуру материала в любой момент падающей скорости сушки.

Исходя из уравнений материального и теплового балансов процесса паротермической обработки, выведена формула для расчета расхода пара на проведение процесса в расчете на единицу площади сушильной камеры:

$$\frac{Cr}{F} = 0,1 d - 0,556 \frac{m_T}{F} \cdot l^{-10,47d}, \quad (2)$$

где Cr – массовый расход пара, кг/с;

F – площадь основания камеры, м²;

d – влагосодержание воздуха г/кг;

u_1 – влагосодержание табака после обработки;

m_T – масса табака, кг;

l – основание натурального логарифма.

При этом полученная экспериментальная кривая была аппроксимирована уравнением:

$$\frac{\Delta U}{\tau} = 289,2 \cdot l^{-10,47}, \quad (3)$$

где U – влагосодержание табака, кг/кг;

τ – время, с.

Основываясь на расчетах по формуле, построена номограмма для определения расхода пара в зависимости от температуры воздуха.

Установлено, что при подготовке табака к сушке и выборе режима послеуборочной обработки, предпочтение необходимо отдавать таким режимам, которые обеспечивают наиболее глубокое обезвоживание листьев, с тем, чтобы условия последующей сушки не повлияли на ухудшение качества табака. Способ и условия томления должны обеспечить максимальное пожелтение пластинки листа (не менее 2/3 площади) и потери массы не менее 40-50 %.

Оптимальной концентрацией табака при размещении в игольчатых кассетах является 75-90 кг/м³, а в контейнерах 130-140 кг/м³.

Изучены аэродинамические свойства табака в зависимости от плотности табака в технологической ёмкости и от скорости движения возду-

ха. Установлено, что увеличение плотности табака в кассете от 40 до 120 кг/м³ и в контейнере от 130 до 170 кг/м³ увеличивает сопротивление слоя на 50 %, а увеличение скорости движения воздуха в 1,5 раза. При сушке происходит усадка листьев табака и изменение его влагосодержания, поэтому скорость прососа и аэродинамическое сопротивление меняется при неизменном расходе сушильного агента.

Полученные данные необходимы для обоснования выбора соответствующего вентиляционного оборудования.

Установлена важная роль влажности вытомленного табака на процесс фиксации листьев при «сухом» и «мокроем» режимах. Для сохранения окраски табака при «мокроем» режиме влажность табака должна находиться в пределах 70-75 %, при «сухом» – не должна превышать 65-68 %.

Расход тепловой и электрической энергии при паротермической обработке табака тем ниже, чем ниже влагосодержание вытомленного табака. При этом выход сырья первого товарного сорта выше.

Для определения зависимости выхода сырья первого товарного сорта от влажности вытомленного табака предложено уравнение:

$$K = 44,6 \times e^{\frac{0,965}{U_{вт} - 0,925}}, \quad (4),$$

где K – массовая доля сырья 1 товарного сорта, %;

$U_{вт}$ – влагосодержание вытомленного табака, кг/кг;

44,6; 0,965; 0,925 – эмпирические коэффициенты, уравнение справедливо при $3,6 \geq U \geq 1,9$.

Ошибка аппроксимации не превышает 25 %. Выявлено, что после «мокрого» и «сухого» режимов фиксации с повышением температуры последующей сушки от 40 до 100° С, продолжительность процесса сокращается в 3 раза. В то же время продолжительность сушки табака после «мокрого» режима фиксации в 1,5 раза меньше, по сравнению с «сухим».

Математическая обработка результатов исследований с помощью программы гиперболической регрессии позволила получить следующую зависимость для определения продолжительности сушки при

$$100 \geq t \geq 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\tau = A + B + \frac{1}{U}, \quad (5),$$

где τ – продолжительность сушки, час;

A и B – эмпирические коэффициенты;

U – влагосодержание, кг/кг.

Расхождение экспериментального и расчетного влагосодержания составляет не более 0,1 кг/кг.

Анализ качества табачного сырья как после «сухого», так и «мокрого» режимов фиксации позволил получить сырьё высокого качества, независимо от температуры последующей сушки.

Таблица 2

Эмпирические коэффициенты в уравнении $\tau + B \times \frac{1}{U}$

Температура окончательного высушивания, $^\circ\text{C}$	Значение коэффициента	
	A	B
40	18,57	1,24
60	5,01	4,10
80	3,01	5,10
100	1,125	6,10

Однако, по результатам исследований предпочтение нужно отдать «мокрому» режиму, который обеспечивает наилучшую фиксацию цвета и снижение кислородного показателя, близкого по значению ферментированного табачного сырья.

По данным проведенных исследований установлено, что наиболее эффективно осуществлять ферментацию высушенного сырья сразу после завершения процесса сушки табака. Чем выше концентрация табака в объеме сушильной камеры, тем меньше расход тепловой и электриче-

ской энергии. Поэтому, технология сушки табака в контейнерах с применением паротермической обработки определена наиболее эффективной для осуществления ферментации в едином процессе с досушкой жилки. Это позволило получить сырьё с улучшенными потребительскими свойствами, минимизировать расход тепловой и электрической энергии и, почти в два раза, уменьшить невозвратимые потери сырья.

На основе проведенных исследований разработана новая технология производства ферментированного табачного сырья в аграрном секторе АПК, сущность которой заключается в следующем [6; 10].

Таблица 3

Данные по химическому составу, технологическим свойствам табачного сырья и дыма

Показатели	Существующая технология сушки и ферментации табака	Технология сушки и ферментации с применением ПО
Химический состав, массовая доля, %		
– никотина	1,5	1,3
– углеводов	1,7	1,9
– белков	6,9	7,2
– хлорофилла	0,7	0,75
Механическая прочность, %		
– волокно	86,5	85,1
– мелочь	11,8	12,9
– пыль	1,7	2,0
Химический состав дыма, мг/см ²		
– никотина	2,5	1,9
– конденсат	33,0	33,0
– смола	32,5	31,1
– СО	16,8	17,3
Условный расход, г/1000 шт. сиг.	985	905

Листья сортов табака, для которого характерен интенсивный тип пожелтения, убирают в состоянии технической зрелости, укладывают в транспортные контейнеры или другую тару и доставляют на сушильное сооружение, где листья механизированным способом перекалывают в технологические контейнеры в неориентированном состоянии, таким образом, чтобы в контейнере размещалось не более 160 кг табака. Заполненные контейнеры размещают на томление.

В начале процесса проводят прогревание массы табака воздухом с $t = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\varphi = 10 - 15\%$ в течение 4 часов при однократном его использовании. Затем, температуру воздуха снижают до $36 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ и проводят томление табака при $\varphi = 75 - 85\%$ при периодическом продувании табака. Томят табак до максимального пожелтения пластинки листа основной массы, но не менее $2/3$ площади в течение 72 часов и приобретения влажности табаком не более 65-70 %. Вытомленный табак помещают в зону фиксации (ПО), которую проводят паровоздушной смесью при $t_c = 120 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_m = 80-82\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V = 0,5\text{ м/с}$ в режиме рециркуляции в течение 15 минут, затем отключают подачу острого пара, в результате t_m снижается до $40-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ и при этих параметрах воздуха табак продувают в течении 15 минут.

Вентиляция работает на выброс отработанного воздуха. Окончательное высушивание табака проводят при $t = 70-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\varphi = 10 - 15\%$ в течение 12-16 часов, после чего температуру воздуха снижают до $60-70\text{ }^{\circ}\text{C}$, а относительную влажность повышают до 65-75 % на период 8-10 часов. После такой обработки табак охлаждают, увлажняют и сортируют. Отсортированный табак упаковывают в кипы с применением горячего прессования [3; 11] и размещают на хранение для отлежки в условиях некондиционированного склада.

Технико-экономическая оценка указанной технологии, проведенной независимой организацией (Куб НИИТИМ), позволила установить, что её применение позволяет создать единый технологический поток при про-

изготовлении ферментированного сырья, снизить затраты труда на 35-40 %, расход тепла и электроэнергии на 5-10 %, улучшить потребительские свойства сырья.

Список использованных источников

1. Мохначев И.Г., Загоруйко М.Г., Петрий А.И. Технология сушки и ферментации табака. М.: Колос, 1993. 280 с.
2. Асмаев П.Г. Сортоведение и ферментация табака. М.: Пищепромиздат, 1956. 296 с.
3. Саломатин В.А., Петрий А.И., Саввин А.А., Пестова Л.П. Агропромышленная технология производства ферментированного табачного сырья // Инновационные технологии в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции в условиях ВТО: матер. Междунар. науч.-практ. конф. (4-5 июня 2013 г., г. Волгоград). Волгоград, 2013. Ч. 2. С. 362-364.
4. Научные основы создания сквозных аграрно-пищевых технологий производства табачной продукции высокого качества и повышенной безопасности/ под ред. В.А. Саломатина. Краснодар: ГНУ ВНИИТТИ РАСХН, 2010. С. 146-155.
5. Петрий А.И., Саломатин В.А., Пестова Л.П., Винецкий Е.И. Энергосберегающая малозатратная технология ферментации табака, выращенного на приусадебном участке и в малых фермерских хозяйствах // Инновационные исследования и разработки для научного обеспечения производства и хранения экологически безопасной сельскохозяйственной и пищевой продукции: матер. Всерос. науч.-практ. конф. (3 июня-8 июля 2013 г., г. Краснодар). С. 65-68. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://vniitti.ru//conf/conf2013/sbornic_conf2013.pdf
6. Пестова Л.П., Петрий А.И. Технология производства конкурентоспособного табачного сырья на основе использования кратковременной

- паротермической обработки вытомленных табачных листьев // Развитие и совершенствование инновационных исследований и разработок для научного обеспечения табачного агропромышленного производства России. Коллективная монография. Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института табака, махорки и табачных изделий / под ред. В.А. Саломатина. Краснодар: Просвещение-Юг, 2012. № 180. С. 143-150.
7. Пестова Л.П., Петрий А.И. Интенсификация естественной сушки табака // Современное состояние естесств. и техн. наук.: матер. VI Междунар. науч.-практ. конф. (20 марта 2012 г.). М.: Изд-во «Спутник +», 2012. С. 124-126.
 8. Лыков А.В. Теория сушки. М.: Энергия, 1968. 471 с.
 9. Данилов О.П., Леончик Б.Л. Экономия энергии при тепловой сушке. М.: Энергоиздат, 1986. 136 с.
 10. Петрий А.И., Саломатин В.А., Пестова Л.П., Винецкий Е.И. Универсальная установка для послеуборочной обработки табака, плодов и овощей // Современное состояние естественных и технических наук: матер. IX Междунар. науч.-практ. конф. (14 дек. 2012 г.). М.: Изд-во «Спутник +», 2011. С. 199-202.
 11. ГОСТ 8072-77 Табака – сырье ферментированное. Технические условия [Текст]. Введ. 1978-01-07. М.: Госстандарт СССР, Изд-во стандартов, 1977.