

## ЭНЕРГОЕМКОСТЬ СУШКИ ЛИСТЬЕВ ТАБАКА: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

*Виневский Е.И., д-р техн. наук, проф., Пестова Л.П., канд. техн. наук,  
Чернов А.В., Ульяновченко Е.Е.*

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

**Аннотация.** Сформулированы возможные пути решения проблемы снижения энергоемкости процесса сушки листьев табака: свежесобранные табачные листья перед томлением целесообразно обрабатывать градиентным магнитным полем или электромагнитным полем крайне низкой частоты; основную массу влаги при томлении листьев табака рационально удалить конвективным способом; СВЧ-излучение возможно применить на более поздней стадии (в фазе фиксации цвета) при влагосодержании равным 1,9-2,2 кг/кг, что сократит энергоемкость процесса.

**Ключевые слова.** Листья, табачное сырье, магнитное поле, влага, масса.

## THE ENERGY INTENSITY OF DRYING TOBACCO LEAVES: PROBLEMS AND SOLUTIONS

*Vinevskii E.I., Dr. Sc. (Tech.), Prof., Pestova L.P., Cand. Sc. (Tech.),  
Chernov A.V., Ulyanchenko E.E.*

FSBSI All-Russian Scientific Research Institute of Tobacco, Makhorka and Tobacco Products, Russian Federation, Krasnodar

**Abstract.** The ways of solving the problem of reducing the energy intensity of the drying process of tobacco leaves are formulated: freshly harvested tobacco leaves before languishing should be treated with a gradient magnetic field or an electromagnetic field of extremely low frequency; the bulk of moisture when the leaves of tobacco are efficiently removed by a convective method; microwave radiation can be applied at a later stage (in the phase of fixing the color) with a moisture content of 1.9-2.2 kg/kg, which will reduce the energy content of the process.

**Keywords.** Leaves, tobacco raw materials, magnetic field, moisture, mass.

В настоящее время при производстве табачного сырья одним из самых энергоемким является его сушка. Существуют различные виды ее: естественная, аэрационная, конвективная, сушка в псевдокипящем слое, сублимационная, инфракрасная и микроволновые сушки.

До сих пор наиболее распространенным является конвективный способ сушки, при котором продувается воздух, нагретый до определенных температур, над или через обезвоживаемый объект [1]. Кроме того, по мнению авторов существенным недостатком является необходимость дополнительного оборудования для утилизации и повторного использования тепловой энергии, что

увеличивает и без того значительную металлоемкость технологического оборудования.

В настоящее время важную роль начинают играть достаточно простые способы получения энергоносителя, отбирающего влагу у сырья. В этом плане носители СВЧ и ИК энергии наиболее приемлемы, так как их источниками являются преобразователи энергии электрического тока в энергию колебаний электромагнитного поля (ЭМП) соответствующего диапазона волн. При этом преобразуемая из электричества энергия практически без потерь полностью передается воде сырья, нагревая ее и заставляя испаряться.

Для решения проблемы снижения энергоемкости процесса сушки растительного сырья ФГБНУ ВНИИТТИ проведен мониторинг методов физического воздействия на сельскохозяйственное сырье (таблица 1) [2]. Установлено следующее:

1. Технологии, основанные на конвекционных механизмах обезвоживания, не обеспечивают качества получаемой продукции и характеризуются большой энергоемкостью процесса. Указанные недостатки конвекционной сушки обусловлены спецификой взаимодействия горячего воздуха с высушиваемыми объектами на различных этапах процесса сушки.

Таблица 1

Сравнительные данные по разным методам физического воздействия на сельскохозяйственное сырье

| Метод физического воздействия | Принцип передачи теплоты  | Качество вырабатываемого продукта  | Энергозатраты на испарение, кВт ч/кг влаги |
|-------------------------------|---|--|--|
| Инфракрасная                  | Передача теплоты ИК-лучами  | Сохраняется до 90% исходных свойств продукта, снижается обсемененность микроорганизмами  | 0,9-1,0                                    |
| СВЧ-сушка                     | Генераторы тепла – диполи воды, содержащейся в сырье, которые помешаются в сверхвысокочастотное электромагнитное поле | Равномерный нагрев, практически не зависит от теплопроводности сушильного материала. Наиболее перспективна комбинированная сушка конвективная подсушка и СВЧ-досушка Специфическое воздействие СВЧ-поля на продукт не обнаружено | 1,6-1,8                                    |
| Конвективная                  | Передача тепла сырью с помощью сушильного агента (нагретый воздух или парогазовая смесь)                              | Снижение теплопроводности продукта в конце сушки значительно удлиняет процесс, ухудшая качество готового продукта<br>Конвективным способом производят 90 % сушеных продуктов   | 1,8-3,0                                    |

На начальном этапе сушки взаимодействие протекает достаточно эффективно, энергоемкость процесса мала, а скорость сушки достаточно высока.

По мере высыхания продукта и связанного с этим снижения его тепло- и массопроводящих характеристик все большая доля тепловой энергии не прони-

кает вглубь высушиваемых продуктов, а переизлучается в пространство. Энергоемкость процесса возрастает, а время сушки многократно увеличивается.

2. Современные и обеспечивающие высокое качество конечного продукта технологии сушки должны опираться на иные физические механизмы обезвоживания, на физические процессы, ход которых не так сильно связан с изменяющимися в процессе сушки собственными свойствами продуктов.

3. Доказано, что весьма перспективно использование ИК- и СВЧ-сушки ввиду ряда важных отличий от классических методов нагрева.

Во-первых, не требуется наличия теплоносителя, способствующего загрязнению обрабатываемого материала.

Во-вторых, интенсивность нагрева не зависит от агрегатного состояния материала – только от его оптических, диэлектрических свойств и напряженности СВЧ-поля.

В-третьих, наибольшая эффективность ИК- и СВЧ-сушки проявляются в диапазоне малых влажностей.

Мониторинг основных направлений совершенствования технологий сушки растительного сырья показал следующее:

1. Возможным путем решения проблемы интенсификации процесса сушки растительного сырья является применение попеременной подачи высоко- и низкотемпературного агента сушки (использование осциллирующих режимов).

2. Для растительного сырья с высоким исходным уровнем влажности целесообразно объединить технологии конвекционной и ИК- или СВЧ-сушки, в единый последовательный сушильный процесс, в котором каждый из составляющих его физических механизмов «работает» при близких к оптимальным параметрам взаимодействия с высушиваемым объектом:

- во влажном растительном сырье, при достаточно больших значениях параметров тепло- и массопроводности, конвекционная сушка имеет преимущества в силу существенно более высокого КПД получения энергии;

- по мере уменьшения в процессе обезвоживания растительного сырья параметров тепло- и массопроводности и снижения эффективности конвекционной сушки менее энергоемкой становится инфракрасная и микроволновая сушка.

Таким образом, на основании результатов анализа современных физических методов обработки сельскохозяйственного сырья и направлений совершенствования технологий сушки растительного сырья сформулирована гипотеза, что основную массу влаги из табачного листа целесообразно удалить конвективным способом, а СВЧ-излучение применить на более поздней стадии, при влагосодержании равным 1,9-2,2 кг/кг, что сократит энергоемкость процесса сушки.

Проведен более подробный анализ результатов исследований по изучению механизмов взаимодействия магнитного и электромагнитного полей с различными частотными и энергетическими характеристиками с биологическими объектами, в том числе с растениями.

Экспериментальными исследованиями установлено [3], что после начала действия импульса электромагнитного поля происходит быстрое увеличение

температуры во всем объеме образца, причем рост температуры в центре образца осуществляется интенсивнее, чем на его поверхности, и вскоре температура в центре образца оказывается выше, чем в поверхностных слоях. Также определено, что при единичном импульсном объемном воздействии электромагнитных полей появляется новый дополнительный фактор, интенсифицирующий внутренний массоперенос – градиент избыточного давления, величина которого зависит от мощности электромагнитного воздействия.

Немаловажным моментом в физике процесса является и то, что, механизм перераспределения энергии ЭМП есть саморегулируемый процесс, так как поглощение энергии наибольшее в тех слоях, где влажность выше, то есть в подсухших и высохших слоях поглощение энергии уменьшается, а так как количество подводимой энергии не изменяется, то происходит перераспределение её в более влажные слои. Это важное свойство взаимодействия объекта сушки и ЭМП обеспечивает равномерность удаления влаги (сушки) по слоям, а, значит, более высокое качество продукта [4].

Таким образом, дополнительное единичное импульсное энергетическое воздействие при конвективной сушке вызывает появление новых движущих сил процесса: градиента температуры и градиента избыточного давления, а саморегулирование поглощения энергии ЭМП более влажными слоями сырья способствует интенсификации процесса сушки.

В настоящее время получает развитие применение электромагнитного поля крайне низкой частоты (ЭМП КНЧ) с целью стимуляции жизненных сил растений.

Действию ЭМП крайне низкочастотного диапазона (3-30 Гц) посвящено огромное число работ, особенно возросшее за последние 10 лет. В работах М.Г. Барышева и Г.И. Касьянова [5, 6] было показано, что воздействие электромагнитного поля крайне низких частот имеющего определенные параметры обладает свойством подавлять развитие грибковых микроорганизмов и бактерий.

Кандидатом наук Т.В.Плотниковой проводились поисковые исследования по изучению возможности применения электромагнитного поля крайне низкой частоты (ЭМП КНЧ) при сушке листьев табака.

Исследования выполняли в следующей последовательности: листья табака в начале опыта взвешивали, затем обрабатывали частотами 27, 29 и 30 Гц по 60 минут. Через 3 и 17 суток осуществляли повторные взвешивания.

Установлено, что лучшие результаты получены при обработке частотой 30 Гц. На третьи сутки количество воды, испарившееся с обработанных листьев было больше на 13,8 % чем на контроле, на 17 сутки – на 48,4 %. Хорошие результаты получены при обработке частотой 29 Гц, количество воды в листьях в сравнении с контролем снизилось на 11,3 % и 47,8 %, соответственно. Обработки частотой 27 Гц не существенно повлияли на скорость сушки сырья, так на 3 сутки данные превышали контроль на 8,1 %, на 17 сутки на 11,3 %.

В последние годы получают развитие исследования по применению постоянного магнитного поля на биологические процессы. Существует много гипотез объясняющих взаимодействие магнитного поля с биологическими системами. Наиболее существен ряд гипотез, согласно которым вода приобретает

биологическую активность [7-9]. Именно водные растворы рассматриваются как первичный рецептор электромагнитного поля, воздействия на который запускает цепочку механизмов, приводящих к изменению протекания различных физико-химических процессов в жизнедеятельности биологических систем. Вода приобретает биологическую активность не только в растворах, но и в тонких ее слоях толщиной менее одного мм. К последним может быть отнесены как свежееубранный лист табака с высоким содержанием воды, так и после сушки с малым содержанием воды (высушенное табачное сырье).

Кандидатом технических наук А.Н. Монастыревой выявлено, что при обработке постоянным магнитным полем недозрелых листьев табака сортотипа Трапезонд, относящегося к традиционной зеленолистной форме, за 120 часов томления в листьях остается 4,55 % хлорофилла, а у контроля значительно выше – 15,05 % [10]. У сортотипа интенсивного типа созревания Остролист у опытных листьев остается хлорофилла меньше 2,92 %, а у контроля остаток хлорофилла выше на 11,76 %.

При обработке технически зрелых листьев табака сортотипа Трапезонд постоянным магнитным полем, в листьях после 96 часов томления, остается около 4,78 % хлорофилла, а в контрольных образцах до 13,92 %. При вытамливании листьев сортотипа Остролист за это же время содержание хлорофилла в опытных образцах составило 3,69 %, а у контроля выше 10,86 %.

Результаты мониторинга экспериментальных исследований применения магнитного и электромагнитного полей для интенсификации процесса сушки листьев табака представлены в таблице 2.

Таблица 2

Мониторинг экспериментальных исследований применения магнитного и электромагнитного поля для интенсификации процесса сушки листьев табака

| Метод физического воздействия              |                                | Градиентное магнитное поле [10] | Электромагнитное поле крайне низкой частоты (ЭМП КНЧ) | СВЧ-воздействие |                | Инфракрасное воздействие [13] |
|--|--------------------------------|---------------------------------|---|-----------------|----------------|-------------------------------|
|  |                                |                                 |   | [11]            | [12]           |                               |
| Характеристика электромагнитного излучения | Частота излучения              | 9 Гц                            | 27, 29, 30 Гц   | 2450 МГц        | 2375 МГц       | 600 тГц                       |
|  | Уровень мощности/напряженность | 0...40 Эрстед                   | *** 50 Вт/кг табака                                   | 2,5 кВт         | * 10, 1к Вт/кг | ** 6,6...8,3 кВт/кг табака    |
|  | Продолжительность обработки    | 2 сек                           | 60 минут  | 20 сек          | 180...210 сек  | 50...60 сек                   |
| Фаза обработки                             |                                | Свежееубранные листья табака    | Свежееубранные листья табака                          | Томления        | Фиксации цвета | Фиксации цвета                |

Установлено следующее:

- градиентное магнитное поле и электромагнитное поле крайне низкой частоты применяют при обработке свежесобраных табачных листьев. Это можно объяснить тем, что воздействие магнитного поля оказывает стимулирующее влияние на биологические процессы, так как магнитоанизотропные молекулы ориентируются в пространстве и концентрируются в зоне воздействия магнитного поля [5, 6, 10];

- обработка электромагнитным полем с частотой от 2000 МГц до 600 ТГц производится в фазах томления и фиксации цвета табачного листа [11, 12, 13], при этом затраты энергии составляют от 2 до 10 кВт.

Лабораторией машинных агропромышленных технологий обобщены и проведен анализ результатов многолетних экспериментальных исследований по определению количества затрачиваемой энергии в процессе сушки листьев табака по различным технологиям. Изучались технологии искусственной и комбинированной сушки листьев табака (таблица 3).

Таблица 3

Энергоемкость процесса сушки листьев табака по различным технологиям

| № п/п | Год испытаний | Технология сушки табака  | Продолжительность сушки, час/дни  | Удельные затраты энергии, кВт-ч/кг влаги |
|-------|---------------|--|---|--|
| 1     | 2004          | Искусственная (эксперимент)  | 78ч/3,25  | 9,01                                     |
| 2     |               | Искусственная (контроль)   | 78ч/3,25  | 12,45                                    |
| 3     | 2015          | Комбинированная:<br>1. Томление в естественных условиях<br>2. Досушка в лабораторной установке                     | 168/7<br>6 суток томления<br>24 часа конвективная досушка в лабораторной установке                  | 9,71                                     |
| 4     |               | Искусственная  | 89 /3 суток + 17 часов  | 11,39                                    |
| 5     | 2018          | Комбинированная:<br>1. Томление в естественных условиях<br>2. Обработка в поле СВЧ                                 | 144,067 ч/<br>6 суток томления<br>4 мин обработки в поле СВЧ  | 3,25                                     |
| 6     |               | Комбинированная:<br>1. Томление в естественных условиях<br>2. Обработка в поле СВЧ<br>3. Досушка в сушильном шкафу | 145,04167 ч/<br>6 суток томления<br>2,5 мин обработки в поле СВЧ<br>1 час досушки в сушильном шкафу | 5,09                                     |
| 7     |               | Комбинированная:<br>1. Томление в естественных условиях<br>2. Досушка в сушильном шкафу                            | 216 ч/<br>6 суток томления<br>2 суток осциллирующим режимом в шкафу                                 | 24,23                                    |

Установлено следующее:

- энергоемкость искусственной сушки листьев табака в сравнении с комбинированной сушкой выше на 25-30 %;

- инновационные технологические приемы подготовки листьев табака к сушке позволяют снизить энергоемкость на 35-40 %;

- использование СВЧ-излучения при сушке средних жилок по технологии комбинированной сушки снижает энергоемкость процесса сушки в 1,9-2,9 раза.

С целью выявления направлений снижения энергоемкости сушки листьев табака были проанализированы затраты энергии в каждой из фаз процесса сушки листьев табака: томление, фиксация цвета; сушка пластинки; сушка средней жилки, результаты которых представлены на рисунках 1, 2.

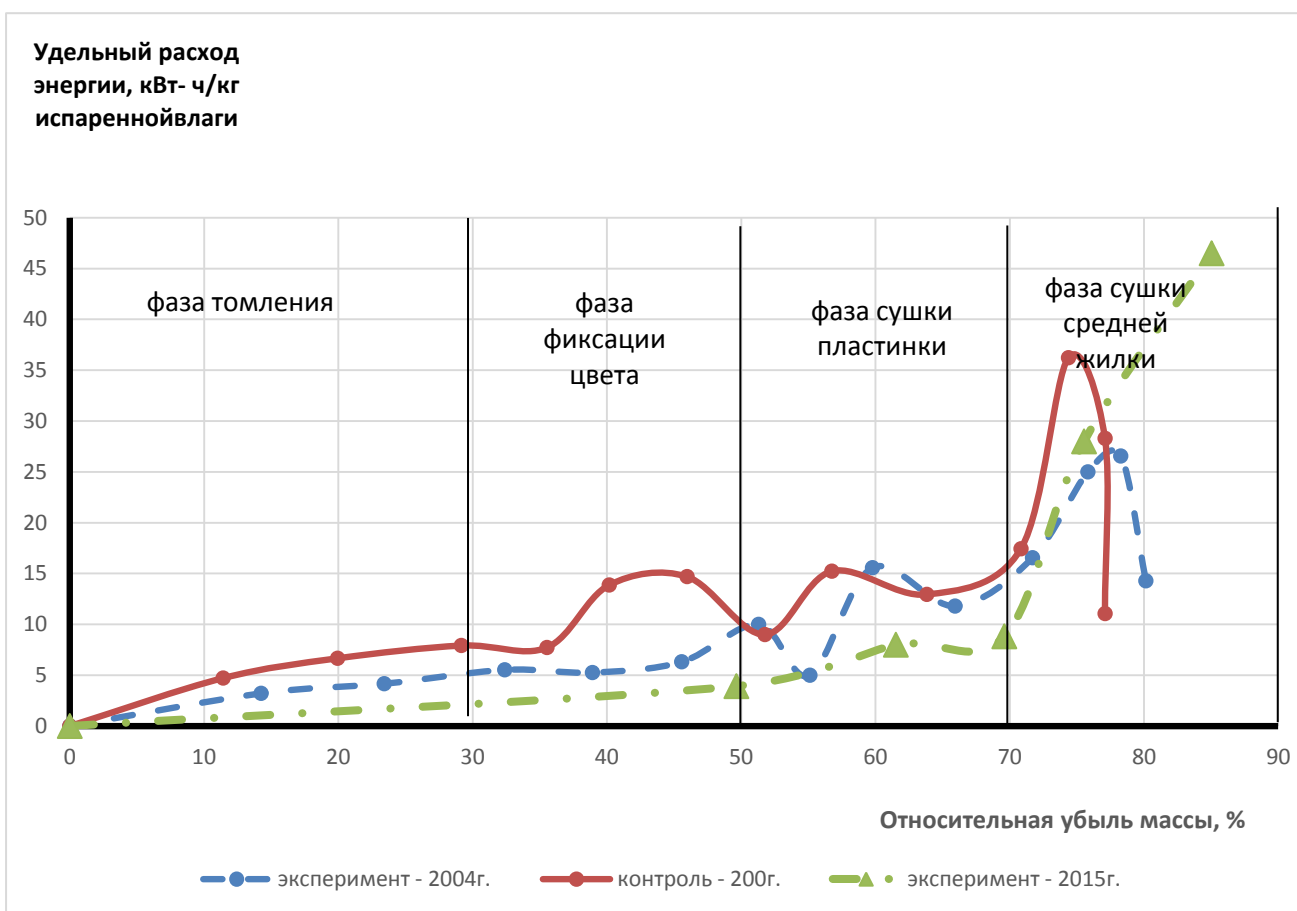


Рисунок 1. Кривые изменения удельного расхода энергии по фазам искусственной сушки листьев табака

Установлено следующее:

- наибольшая энергоемкость процесса сушки листьев табака наблюдается в фазе сушки средней жилки;

- использование инновационных технологических приемов подготовки листьев табака к сушке снижает энергоемкость сушки средней жилки на 25-30 %;

- применение СВЧ-излучения при сушке средних жилок в сравнении с конвективной сушкой снижает энергоемкость процесса в 7-9 раз.

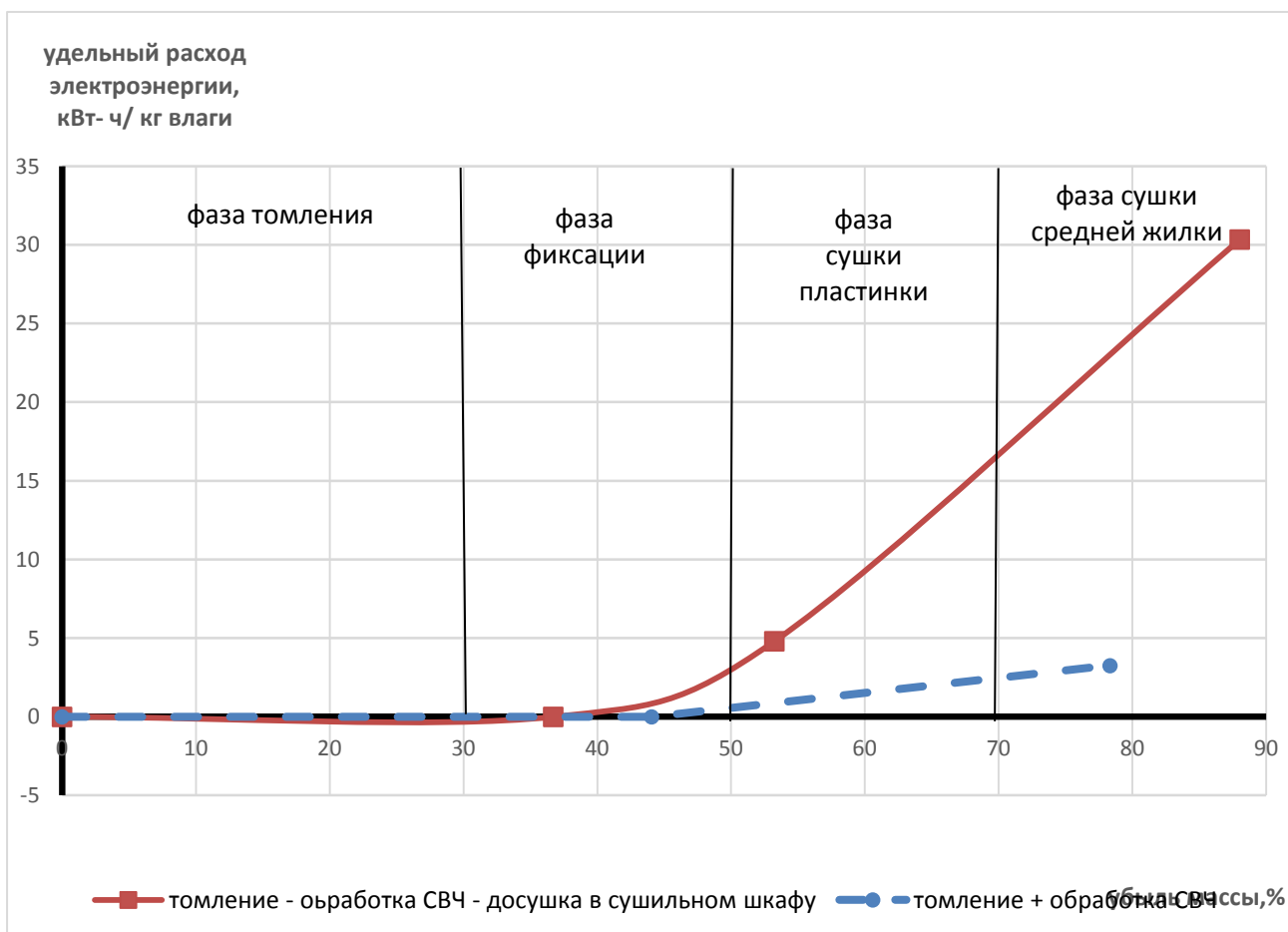


Рисунок 2. Кривые изменения удельного расхода энергии по фазам комбинированной сушки листьев табака

Исходя из выше изложенного, можно сделать вывод, что, так же, как и при переработке других сельскохозяйственных культур, применение СВЧ-излучения в фазе сушки средней жилки позволяет снизить энергоемкость сушки листьев табака в 2-3 раза в сравнении с существующими технологиями.

Таким образом, на основе анализа многолетних экспериментальных исследований по интенсификации сушки листьев табака сформулированы возможные пути решения проблемы снижения энергоемкости процесса сушки листьев табака:

- свежесобранные табачные листья перед томлением целесообразно обрабатывать градиентным магнитным полем или электромагнитным полем крайне низкой частоты;
- основную массу влаги при томлении листьев табака целесообразно удалить конвективным способом;
- СВЧ-излучение применить на более поздней стадии (в фазе фиксации цвета) при влагосодержании равным 1,9-2,2 кг/кг, что сократит энергоемкость процесса и повысит устойчивость сырья при хранении, что и предстоит экспериментально проверить.



## Литература

1. Волончук С.К., Сапожников А. Н., Шорников Л.П. Энергосберегающие технологии переработки растительного сырья. Ползуновский вестник 2011. № 2 (1). С. 166-171.
2. Винецкий Е.И. Мониторинг современных физических методов обработки сельскохозяйственного сырья//Инновационные исследования и разработки для научного обеспечения производства и хранения экологически безопасной сельскохозяйственной и пищевой продукции: сб. матер. II Междунар. научн.-практ. конф. (05-26 июня 2017 г., г. Краснодар). С. 284-289. URL: [http://vniitti.ru/conf/conf2017/sbornik\\_conf2017.pdf](http://vniitti.ru/conf/conf2017/sbornik_conf2017.pdf).
3. Мустяца В.Т., Берженарь В.Т., Мустяца Ю.К. Интенсификация внутреннего тепло и массопереноса во влажном материале дополнительным единичным нагревом в электромагнитном поле // Электрофизические методы обработки пищевых продуктов и сельскохозяйственного сырья: тез. докл. шестой всес. науч.-техн. конф. М., 1989. С. 150-154.
4. Гинзбург А.С. Применение методов кибернетики для повышения эффективности процессов электрофизической обработки пищевых и сельскохозяйственных продуктов // Электрофизические методы обработки пищевых продуктов и сельскохозяйственного сырья: тез. докл. шестой всес. науч.-техн. конф. М., 1989. С. 141-150.
5. Барышев М.Г. Влияние электромагнитного поля на биологические системы растительного происхождения. Краснодар: Кубанский государственный университет, 2002. 297 с.
6. Барышев М.Г., Касьянов Г.И. Электромагнитная обработка сырья растительного и животного происхождения. Краснодар, 2002. 136 с.
7. Никулин М.А. О механизме биологического действия магнитных полей // Материалы Международной научно-производственной конференции по магнитологии. Витебск, 1999. С. 35-36.
8. Павлова И.С. Новые физические методы обработки пищевых продуктов. Киев; Госиздат.техн. литературы УССР, 1963. 382 с.
9. Новицкий Ю.И., Новицкая Г.В. Действие постоянного магнитного поля на растения. М.: Наука, 2016.
10. Монастырева А.М. Обоснование выбора физического метода воздействия на табак для интенсификации послеуборочной обработки табака // Политематический сетевой электронный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. Краснодар: КубГАУ, 2012. №05(79). Режим доступа: <http://ei.kubagro.ru/2012/05/pdf/30.pdf>.
11. Евразийский патент № 002448 «Способ обработки табака для снижения содержания нитрозоаминов и продукты, полученные этим способом».
12. Усачев С.Г. Гигротермическая обработка листового табака с применением ИК и СВЧ – излучений: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1983.
13. А.С. СССР № 1063369. Способ сушки табака / С.Г. Усачёв, А.И. Петрий, Г.В. Наливко и др. №3456976, опубл. 1983, Бюл. № 48.