

ВИНЕВСКАЯ Наталия Николаевна

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ РАБОЧИХ
ОРГАНОВ ДЛЯ НАКОПЛЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ЛИСТЬЕВ
ТАБАКА МАШИННОЙ УБОРКИ**

Специальность: 05. 20. 01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Государственном научном учреждении Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий Россельхозакадемии (ГНУ ВНИИТТИ Россельхозакадемии)

- Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Трубилин Евгений Иванович
- Официальные оппоненты: Чеботарев Михаил Иванович
доктор технических наук, профессор
Кубанский ГАУ
заведующий кафедрой ремонта машин
- Кузнецов Геннадий Яковлевич
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
Северо-Кавказский зональный НИИ садоводства и виноградарства
старший научный сотрудник отдела развития виноградарства
- Ведущая организация: Государственное научное учреждение
«Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства» Российской академии сельскохозяйственных наук (г. Зерноград)

Защита состоится «24» мая 2012 года в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 220.038.08 при ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет» по адресу: 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13, Кубанский ГАУ, корпус факультета энергетики и электрификации, ауд. № 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет».

Автореферат размещён на сайте ВАК РФ <http://vak2.ed.gov.ru>
«18» апреля 2012 года.

Автореферат размещён на сайте Кубанского ГАУ <http://kubsau.ru>
«17» апреля 2012 года.

Автореферат разослан «___» апреля 2012 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор технических наук

В.С. Курасов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Табачная отрасль является важной составляющей агропромышленного комплекса России, так как курильщиками является почти треть ее населения. Зарубежные табачные компании, пришедшие в табачную отрасль России со своими сырьевыми рынками, не заинтересованы в развитии отечественного табаководства. Постановлением Правительства РФ №581 в 2001 г. принята Федеральная целевая программа социально-экономического развития «Юг России» с инвестиционными проектами возрождения и развития табаководства в Астраханской области, Республике Дагестан, Чеченской республике, Краснодарском крае, согласно которой стратегический производственный потенциал табачного сырья определяется в 20 – 25 тыс. га.

ГНУ ВНИИТТИ проводит фундаментальные исследования по разработке технических средств для табаководства на основе современных принципов механизации. Наиболее трудоемким процессом при производстве табачного сырья является уборка листьев. Машинная уборка отечественных сортов табака снижает трудоемкость процесса и повышает производительность в 10-14 раз, но существующая технология накопления и транспортирования листьев имеет существенные недостатки. В массе свежесобраных неориентированно уложенных в бункере комбайна листьев содержатся соцветия, пасынки, обрывки, листья от 20 до 50% с механическими повреждениями пластинки листа. Последующая подготовка к сушке таких листьев повышает затраты труда на 15-25%, сушка несортированной массы приводит к перерасходу энергоресурсов и снижает качество сырья. В связи с этим требуется усовершенствовать технологический процесс машинной уборки, разработать и оптимизировать параметры рабочих органов для накопления и транспортирования листьев табака, применение которых позволит снизить трудовые и энергетические затраты на послеуборочную обработку табака. Работа выполнена в период 2002 – 2010 годы в ГНУ ВНИИТТИ и является результатом выполнения заданий НТП РАСХН на 2001-2005 гг. (ГР № 01.20.0 404888) и на 2006-2010 гг. (ГР № 01.20.0 404896,

ГР № 01.20.0 404890, ГР № 01.20.0 404894), государственных контрактов с Департаментом сельского хозяйства и перерабатывающей промышленности Краснодарского края № 4.1.8/67 – 2006 г., № 4.1.8/32 – 2007 г.

Цель исследования - снижение энергетических и трудовых затрат на послеуборочную обработку листьев табака машинной уборки за счет применения нового способа транспортирования листьев в контейнере рулонного типа.

Объект исследования – технологический процесс уборки и транспортирования листьев табака, свежееубранные листья табака, способ накопления листьев, устройства для накопления и транспортирования листьев.

Предмет исследования – взаимодействие листьев с материалом контейнера рулонного типа при их накоплении, взаимосвязь технологических параметров рабочих органов для накопления и транспортирования листьев с их конструктивными параметрами и режимами работы, закономерности эффективного функционирования устройств.

Методы исследования базировались на положениях теоретической механики. Результаты экспериментальных исследований обрабатывались методами математической статистики и планирования многофакторного эксперимента.

Научная новизна работы:

1. Научно-обоснованный технологический процесс накопления листьев табака в контейнере рулонного типа.
2. Механико-математическая модель процесса накопления листьев табака между поверхностями гибкого материала.
3. Закономерности влияния материала накопителя с различными коэффициентами пористости и продолжительности времени после отделения табачного листа от стебля на величину статического коэффициента трения листьев.
4. Зависимости удельной нагрузки на единицу площади накопителя и коэффициента относительной убыли влаги, от конструктивных и режимных параметров устройств.

Новизна технических решений и полезность разработок подтверждена шестью патентами РФ на изобретения и полезные модели.

Практическую значимость работы составляют:

1. Новый способ и рабочие органы для накопления и транспортирования свежесобранных листьев табака крупной фракции в контейнере рулонного типа, позволяющие объединить процесс уборки и послеуборочной обработки в единый технологический поток, снизить трудовые и энергетические затраты на послеуборочную обработку листьев.

2. Методика инженерного расчета рабочего органа для накопления и транспортирования свежесобранных листьев табака в контейнере рулонного типа, позволяющая определить основные параметры и режимы работы устройств.

Основные положения, выносимые на защиту:

- усовершенствованная функциональная схема табакоуборочного комбайна, включающая в себя устройство для накопления и транспортирования листьев табака в контейнере рулонного типа;

- оптимальные конструктивные и режимные параметры рабочего органа для накопления листьев табака и контейнера рулонного типа;

- методика инженерного расчета рабочих органов для накопления и транспортирования листьев табака в контейнере рулонного типа;

- экономическая эффективность применения рабочих органов для накопления и транспортирования листьев табака.

Реализация результатов исследований. Экспериментальный образец устройства для накопления табачных листьев в контейнере рулонного типа прошел ведомственные испытания, объем внедрения на опытно-селекционном участке ГНУ ВНИИТТИ составил 20,6 га.; методика инженерного расчета рабочих органов для накопления и транспортирования листьев табака в контейнере рулонного типа внедрена в учебный процесс Кубанского ГАУ.

Апробация работы. Основные результаты исследований докладывались и обсуждались на Всероссийских научно-практических конференциях (г. Углич, 2005 г., 2006 г., г. Волгоград, 2004 г.); Международной (г. Краснодар, 2005 г.) и Региональной (г. Краснодар, 2011 г.) научно-практических конференциях.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 10 научных работ, в том числе три работы в журналах, рекомендованных ВАК. Получено шесть патентов РФ на изобретения и полезные модели.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка использованных источников, включающего 154 наименования, в т. ч. 13 на иностранных языках и приложения. Диссертация изложена на 197 страницах, включая 52 страницы приложения, содержит 54 рисунка и 25 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы, сформулирована цель работы, и изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведен обзор современного состояния механизации процессов уборки листьев табака и их транспортирования на сушку, анализ научно-исследовательских работ по теме исследований. Зарубежный опыт механизированной уборки и послеуборочной обработки табака показал, что известная уборочная техника и технология уборки не пригодны для отечественных сортов табака. Отечественным разработкам рабочих органов для отделения листьев, транспортирования и ориентированной укладке их в накопители посвящены работы И.П. Леонова, В.А. Ластовского, Б.П. Новикова, В.З. Аверкова. Работы В.П. Рудомахи посвящены подготовке посадок табака к механизированной уборке, разработке приемов механизированной уборки, сушке листьев.

Анализ предшествующих исследований показал, что при существующей технологии машинной уборки увеличиваются трудовые и энергетические затраты на послеуборочную обработку табака. Установлено, что совершенство-

вать технологию уборки и послеуборочной обработки необходимо путем введения новых приемов и способов, позволяющих совместить уборку с сортировкой, а транспортировку - с технологией подготовки листьев к сушке.

На основании изложенного сформулирована рабочая гипотеза: снижение энергетических и трудовых затрат при послеуборочной обработке листьев табака машинной уборки можно достичь за счет сортировки листьев в процессе уборки и способа транспортирования листьев в контейнере рулонного типа, позволяющем снизить их влагосодержание и механизировать процесс разгрузки.

Для выполнения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Теоретически обосновать усовершенствованную функциональную схему табакоуборочного комбайна и получить аналитические выражения основных конструктивных, технологических и режимных параметров рабочего органа для накопления листьев табака и контейнера рулонного типа.

2. Установить влияние свойств применяемых материалов контейнера рулонного типа на характер связи с накапливаемыми листьями.

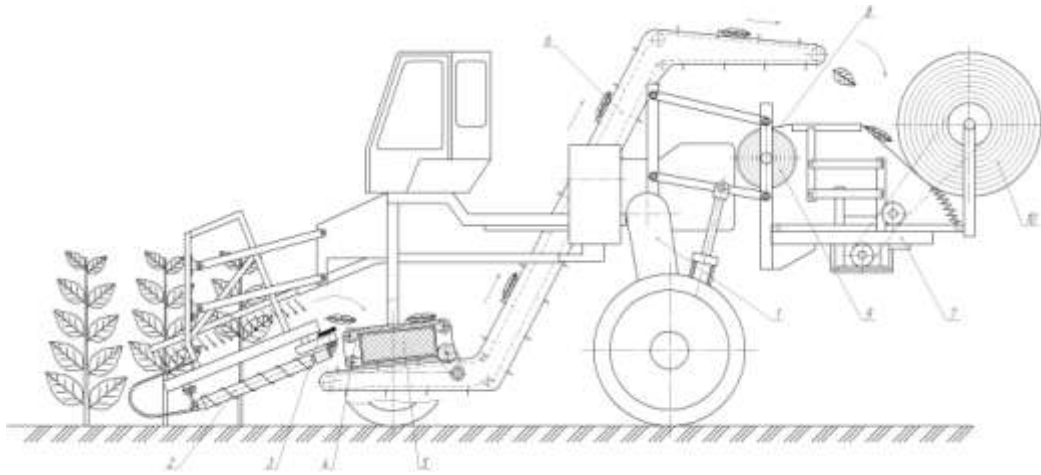
3. Обосновать способ накопления листьев в контейнере рулонного типа, оптимальные условия их кратковременного хранения при транспортировании и подготовке к сушке, схему послеуборочной обработки листьев.

4. Оптимизировать конструктивные, технологические и режимные параметры рабочих органов для накопления и транспортирования табачных листьев.

5. Разработать методику инженерного расчета основных параметров рабочих органов для накопления и транспортирования табачных листьев.

6. Испытать экспериментальный образец рабочего органа для накопления табачных листьев и определить эффективность его применения.

Во второй главе представлено теоретическое обоснование усовершенствованной функциональной схемы табакоуборочного комбайна, включающей в себя устройство для накопления листьев табака в виде гибкой воздухопроницаемой ленты, натянутой между подающим и накопительным барабаном, образующей при сматывании контейнер рулонного типа (рисунок 1).



1 - самоходное шасси; 2 - листоотделяющий механизм; 3 - щеточные диски; 4 - устройство, разделяющее листья на фракции; 5 - технологический контейнер; 6 - выносной конвейер; 7 - накопитель табачных листьев; 8 - лента накопителя; 9 - барабан подающий; 10 - барабан накопительный.

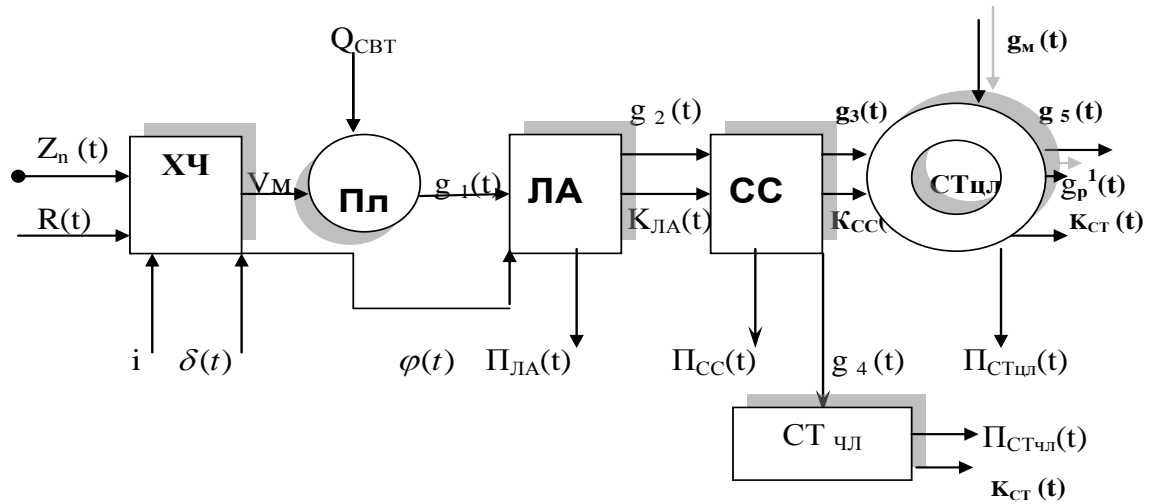
Рисунок 1 - Усовершенствованная функциональная схема табакоуборочного комбайна

Технологический процесс уборки содержит ряд операций: отделение листьев от стебля листоотделительным аппаратом; сепарацию массы листьев для отделения мелочи, обрывков; накопление и транспортирование листьев в контейнере рулонного типа, каждая из которых описана системой уравнений с входными и выходными параметрами - подачи листьев (количества), качества и потерь, являющимися функцией времени.

Технологический процесс накопления и транспортирования листьев в контейнере рулонного типа представлен системой уравнений

$$\begin{cases} g_3(t) + g_M(t) = g_5(t) + g_M^1(t) + P_{CT}(t) \\ K_{CT}(t) = K_{CHл}(t) \end{cases} \quad (1)$$

где $g_M(t)$ - количество массы материала в момент накопления листьев, кг; $g_5(t)$ - количество массы частично вытомленных листьев при разгрузке, кг; $g_M^1(t)$ - количество массы материала рулонного накопителя при разгрузке, кг; $P_{CT}(t)$ - потери транспортирования, кг; $K_{CT}(t)$ - качество транспортирования.



ХЧ – ходовая часть; Пл – поле; ЛА – листоотделительный аппарат; СС – система сепарации; СТцл – система накопления и транспортирования целых листьев. СТчл – система накопления и транспортирования частей листьев.

Неуправляемые входные воздействия: $Z_n(t)$ – профиль поверхности поля; $R(t)$ – сопротивление передвижению. Управляющие входные воздействия: $\delta(t)$ – угол поворота управляемых колес; i – передаточное отношение коробки перемены передач ходовой части. $\varphi(t)$ – колебания остова листоотделительного аппарата; V_M – скорость движения табакоуборочного комбайна; $Q_{СВТ}$ – урожайность табака; $g_1(t)$; $g_2(t)$; $g_3(t)$; $g_4(t)$; $g_5(t)$ – количество (подача) массы табака к листоотделительному аппарату, системам сепарации, накопления и транспортирования целых листьев, частей листьев, к разгрузке; $K_{ЛА}(t)$; $K_{СС}(t)$; $K_{СТцл}(t)$; $K_{СТчл}(t)$; – качество массы табака, поступающего к системам сепарации; накопления и к разгрузке; $\Pi_{ЛА}(t)$; $\Pi_{СС}(t)$; $\Pi_{СТцл}(t)$; $\Pi_{СТчл}(t)$; – потери табака после листоотделителя, систем сепарации и накопления.

Рисунок 2 - Блок-схема усовершенствованного технологического процесса работы табакоуборочного комбайна

Контейнер рулонного типа является одновременно транспортной и технологической емкостью. В качестве образующей контейнера применяется мягкий (гибкий) воздухопроницаемый материал – ткань (рядно) или сетка. При перевозке и кратковременном хранении при подготовке к сушке, листья в рулоне частично проходят томление (первая фаза сушки), при котором идут химические реакции за счет тепла самосогревания. Листья выжелчиваются и теряют влагу, которая впитывается тканью и испаряется. Частичную подсушку свежееубранных листьев можно выразить уравнением материального баланса:

$$m_p + m_{свл} = m_p^1 + m_{выт}, \quad (2)$$

где m_p – масса материала в момент загрузки свежееубранных листьев, кг; $m_{свл}$ – масса загружаемых свежееубранных листьев табака, кг.

$$m_{свл} = m_{вл} + m_{выт},$$

где $m_{вл}$ – масса испаренной влаги из листьев при транспортировании, кг; $m_{выт}$ – масса частично вытомленных листьев при транспортировании, кг; m_p^I – масса материала накопителя в момент разгрузки листьев, кг.

$$m_p^I = m_p + m_{вл}$$

Из уравнения материального баланса определили – относительную убыль влаги (% или кг/кг), параметр, принятый нами за критерий оптимизации:

$$m_{вл} = \frac{m_{свл} - m_{выт}}{m_c} \cdot 100\% \quad (3)$$

Снижение влагосодержания листьев при перевозке и кратковременном хранении в рулоне позволит сократить энергетические затраты на сушку.

Моделирование процесса накопления листьев между поверхностями гибкого материала при сматывании его в рулон показало, что накопление и фиксация листьев между поверхностями материала осуществляется при условии возникновения сил трения между ними в результате натяжения его ветвей (рисунок 3). Сила трения, распределенная в пределах дуги обхвата, зависит от величины натяжения концов материала \bar{T}_1 и \bar{T}_2 , дуги обхвата α и коэффициентов трения между поверхностями материала f_{mat} и между материалом и листом $f_{таб}$.

Разность сил натяжений \bar{T}_1 и \bar{T}_2 зависит от величины сил трения, действующих со стороны материала на табачный лист, находящийся между поверхностями материала в пределах дуги обхвата α . Для установления связи между силами \bar{T}_1 и \bar{T}_2 выделим малую дугу материала, приложив к ее концам силы натяжения \bar{T}_2 и $\bar{T}_1 = \bar{T}_2 + \Delta\bar{T}$, каждая из которых направлена по касательной к барабану в соответствующей точке. На участке АВ сила натяжения не постоянна и изменяется от значения \bar{T}_1 у точки А до значения \bar{T}_2 в точке В. Прижатие гибкого материала будет больше у точки А. Со стороны барабана на выделенный элемент материи действует нормальное распределенное давление, имеющее равнодействующей $\delta\bar{R}_n$, и распределенная сила трения $\delta\bar{F}$, направленная против скорости скольжения и по закону трения скольжения $\delta\bar{F} = f\delta\bar{R}_n$.

Составим уравнение равномерного скольжения гибкого материала по дуге обхвата для элемента гибкой связи длиной dl , соответствующего элементарному углу обхвата $d\alpha$ в направлении оси Y (рисунок 4).

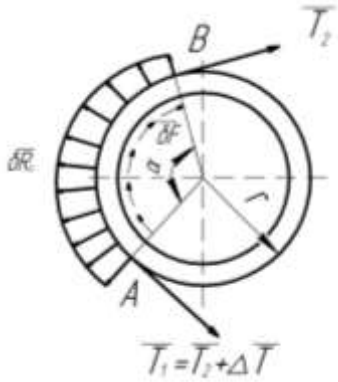


Рисунок 3 - Схема взаимодействия гибкого материала с табачным листом

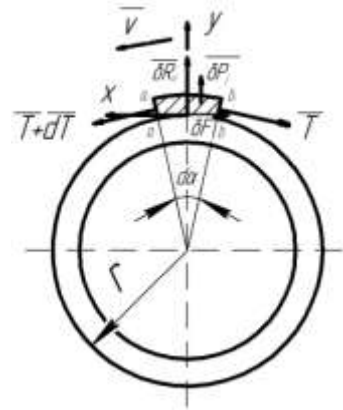


Рисунок 4 - Схема элемента гибкого воздухопроницаемого материала

В сечениях aa и bb действуют натяжения \bar{T} и $\bar{T} + dT$, элементарная сила трения $\delta \bar{F}$ и нормальная реакция $\delta \bar{R}_n$. При составлении условий равновесия необходимо учитывать центробежную силу $\delta \bar{P}_j$, так как гибкий материал движется по искривленной поверхности.

$$\delta \bar{P}_j = \frac{\bar{P}_{mat} \bar{V}_{mat}^2}{g r} dl \quad (4)$$

где $\delta \bar{P}_j$ – элементарная центробежная сила, Н; \bar{P}_{mat} – погонный вес гибкой связи, Н/м; g – ускорение свободного парения, м/с²; \bar{V}_{mat} – скорость перемещения гибкого материала, м/с; r – радиус поверхности, м.

Так как $dl = r d\alpha$, тогда

$$\delta \bar{P}_j = \frac{\bar{P}_{mat} \bar{V}_{mat}^2}{g} d\alpha \quad (5)$$

Из условия равновесия суммы сил на ось $\sum Y = 0$ получим

$$-(\bar{T} + d\bar{T}) \sin \frac{d\alpha}{2} - \bar{T} \sin \frac{d\alpha}{2} + \delta \bar{P}_j + \delta \bar{R}_n = 0 \quad (6)$$

Заменив $\sin \frac{d\alpha}{2}$ на $\frac{d\alpha}{2}$ и пренебрегая малой величиной $\frac{d\bar{T} d\alpha}{2}$, получим

$$\delta \bar{R}_n = \bar{T} d\alpha - \delta \bar{P}_j \quad (7)$$

Дифференциальная зависимость указывает, что прижатие $\delta \bar{R}_n$ материала к искривленной поверхности обусловлена натяжением \bar{T} и кривизной поверхности (угол - $d\alpha$), причем центробежная сила \bar{P}_j уменьшает это прижатие.

Подставив (5) в (7) и преобразовав, получим

$$\delta \bar{R}_n = \left(\bar{T} - \frac{\bar{P}_{mat} \bar{V}_{mat}^2}{g} \right) d\alpha \quad (8)$$

Из уравнения (8) следует, что прижатие отсутствует в двух случаях:

$$\text{если } d\alpha = 0; \quad \text{и} \quad \text{если } \bar{T} - \frac{\bar{P}_{mat} \bar{V}_{mat}^2}{g} = 0$$

$$\bar{T} = \frac{\bar{P}_{mat} \bar{V}_{mat}^2}{g} \quad (9)$$

где \bar{T} - натяжение от центробежных сил, Н.

Из уравнения (9) определим скорость перемещения материала

$$V_{кр} = \sqrt{\frac{g \bar{T}}{\bar{P}_{mat}}} \quad (10)$$

где $V_{кр}$ - критическая скорость перемещения материала, м/с.

Для обоснования параметров процесса взаимодействия поверхностей гибкого материала с табачным листом воспользуемся формулой Эйлера.

$$\left(\bar{T}_1 - \frac{\bar{P}_{mat} \bar{V}_{mat}^2}{g} \right) / \left(\bar{T}_2 - \frac{\bar{P}_{mat} \bar{V}_{mat}^2}{g} \right) = e^{f\alpha} \quad (11)$$

Известно, что сила трения равна разности натяжений ветвей

$$\bar{F}_{лист} = \bar{T}_1 - \bar{T}_2 \quad (12)$$

Подставляя (11) в (12), получим

$$\bar{F}_{лист} = \left(\bar{T}_2 - \frac{\bar{P}_{mat} \bar{V}_{mat}^2}{g} \right) (e^{f\alpha} - 1) \quad (13)$$

Определим нормальное распределенное давление, оказываемое на табачный лист со стороны гибкого воздухопроницаемого материала

$$p_{лист} = \frac{\bar{P}_{mat}}{S_{лист}} \quad (14)$$

где \bar{P}_{mat} - сила, оказывающая давление на лист со стороны материала, Н;
 $S_{лист}$ - площадь табачного листа, м².

$$\bar{P}_{mat} = \frac{\bar{F}_{лист}}{f} \quad (15)$$

$$P_{лист} = \frac{(\bar{T}_2 - \frac{\bar{P}_{mat} \bar{V}_{mat}^2}{g}) (e^{f\alpha} - 1)}{f S_{лист}} \quad (16)$$

В случае, если скольжение табачного листа относительно поверхностей гибкого материала во всех точках дуги обхвата отсутствует ($V_{mat} = 0$), имеем

$$P_{лист} = \frac{P_{mat}}{S_{лист}} = \frac{T_2 (e^{f\alpha} - 1)}{S_{лист} f} \quad (17)$$

Рассмотрим силы, действующие на лист в некоторой точке O_1 в зависимости от угла поворота барабана, например при нахождении ее в нижнем правом секторе (рисунок 5). Ось x_1 направим по нормали к элементу в точке O_1 , ось y_1 - по касательной к движению гибкого материала. На табачный лист, движущийся вместе с материалом, действуют: сила тяжести G , силы натяжения материала \bar{T}_1 и \bar{T}_2 , причем $\bar{T}_1 > \bar{T}_2$; нормальная реакция поверхности листа N , P_{mat} - сила давления на табачный лист со стороны материала и центробежная сила P_j .

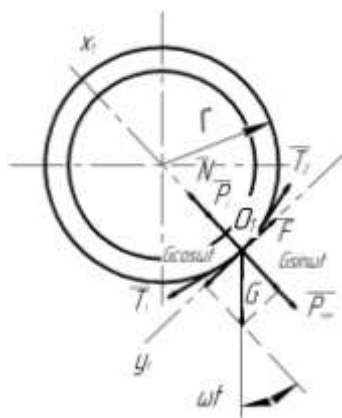


Рисунок 5 - Схема сил, действующих на лист табака при взаимодействии его с гибким воздухопроницаемым материалом

Лист табака будет находиться в состоянии относительного покоя, если сумма проекций всех сил на оси x_1 и y_1 будет равна нулю

$$\left. \begin{aligned} \bar{T}_1 \sin \frac{d\alpha}{2} - \bar{T}_2 \sin \frac{d\alpha}{2} + \bar{G} \cos \omega t - \bar{F} &= 0, \\ \bar{T}_1 \cos \frac{d\alpha}{2} - \bar{T}_2 \cos \frac{d\alpha}{2} + \bar{N} + \bar{P}_j - \bar{P}_{mat} - \bar{G} \sin \omega t &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

Решая систему уравнений (18) определим величину давления, оказываемого со стороны гибкого материала на табачный лист в зависимости от угла поворота α рулонного накопителя:

$$P_{\text{давл}} = \frac{G \left(\frac{\cos \omega t}{f} + f \sin \omega t \right) - f T_2 (e^{f\alpha} - 1) - f m_{\text{лист}} V_{\text{мат}}^2}{S_{\text{лист}}} \quad (19)$$

В результате теоретических исследований процесса накопления листьев между поверхностями гибкого материала получены уравнения критической скорости $V_{\text{кр}}$ материала и нормального распределенного давления на лист $P_{\text{давл}}$.

Получены аналитические выражения основных технологических, режимных и конструктивных параметров рабочего органа для накопления листьев табака и контейнера рулонного типа:

- производительность табакоборочного комбайна, кг/с

$$Q_{\text{КТУ}} = n_{\text{лист}} m_{\text{лист}} \frac{V_{\text{КТУ}}}{t_{\text{нос}}}, \quad (20)$$

где $n_{\text{лист}}$ - количество листьев, убираемых с одного растения; $m_{\text{лист}}$ - масса табачного листа, кг; $V_{\text{КТУ}}$ - скорость табакоборочного комбайна, м/с; $t_{\text{нос}}$ - шаг посадки растений табака, м.

- время заполнения контейнера - накопителя табакоборочной машины, с

$$t_{\text{накопит}} = \frac{V_{\text{накопит}} \rho_{\text{лист}} t_{\text{нос}} h_{\text{лист}}}{V_{\text{КТУ}} h_{\text{захв}} m_{\text{лист}}}, \quad (21)$$

где $V_{\text{накопит}}$ - объем накопителя, м³; $\rho_{\text{лист}}$ - плотность массы отделенных листьев, кг/м³; $h_{\text{захв}}$ - высота захвата рабочего органа для отделения листьев от стебля, м.; $h_{\text{лист}}$ - расстояние между листьями на стебле, м.

- количество слоев листьев на полотне рулонного контейнера-накопителя

$$n_{\text{слоев}} = \frac{30 Q_{\text{КТУ}} S_{\text{лист}}}{B_{\text{рулон}} R_{\text{рулон}} \pi n m_{\text{лист}}} \quad (22)$$

где $S_{\text{лист}}$ - площадь поверхности одного табачного листа, м²; $B_{\text{рулон}}$ - ширина рулонного накопителя, м.; $R_{\text{рулон}}$ - радиус рулонного накопителя, м; n - частота вращения приводного вала устройства для накопления листьев табака в рулонном накопителе, мин⁻¹.

- ширина материала рулонного контейнера-накопителя

$$S_{\text{материал}} = S_{\text{кон}} < 2(B_{\text{Меж}} - t_{\text{защитн}}) \quad (23)$$

где $B_{\text{Меж}}$ - ширина междурядья, м.; $t_{\text{защитн}}$ - величина защитной зоны, м.

- длина материала рулонного контейнера-накопителя

$$L_{\text{матер}} = \pi n_{\text{слоев}} \left[2 \left(R_{\text{вн}} + \frac{(\delta_{\text{мат}} + s_{\text{лист}})}{2} \right) + (\delta_{\text{мат}} + s_{\text{лист}}) (n_{\text{слоев}} - 1) \right] \quad (24)$$

где $R_{\text{вн}}$ – внутренний радиус рулонного накопителя, м; $n_{\text{слоев}}$ – количество слоев в рулонном накопителе (порядковый номер слоя); $\delta_{\text{мат}}$ – толщина гибкого воздухопроницаемого материала, м; $s_{\text{лист}}$ – толщина листа, м.

В третьей главе представлены программа и методика экспериментальных исследований. Экспериментальная часть работы выполнена в лаборатории машинных агропромышленных технологий ГНУ ВНИИТТИ, на специально сконструированных приборах и установках, экспериментальных образцах универсального табакоуборочного комбайна КТУ-720 и линии для подготовки табака к сушке ЛПТС-360. Результаты экспериментальных исследований обрабатывались методами общей теории статистики. Обработка результатов многофакторных экспериментов проводилась - в программе MS Excel.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований по обоснованию усовершенствованной функциональной схемы табакоуборочного комбайна (рисунок 1), способа накопления листьев в контейнере рулонного типа, применяемым материалам контейнера и оптимальным условиям кратковременного хранения листьев в контейнере при транспортировании. Определены статические коэффициенты трения свежесобранных листьев табака о различные конструкционные материалы (рисунок 6).

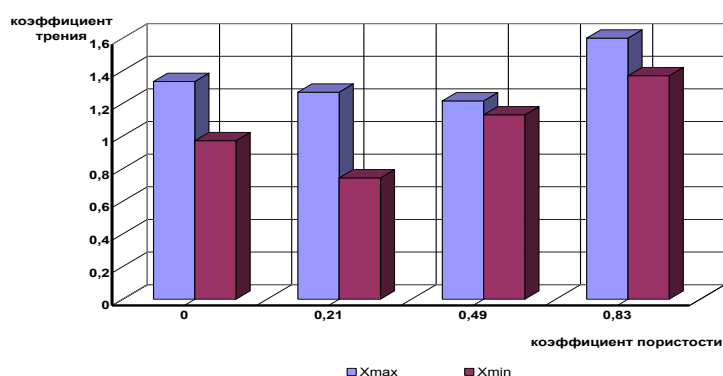


Рисунок 6 - Значения коэффициентов трения для различных материалов с пределами варьирования

Получены эмпирические уравнения влияния коэффициента пористости материала рулонного контейнера $k_{\text{пор}}$ на коэффициент трения сторон пластинки табачного листа.

$$f_{нижн} = 0,78k_{пор}^2 - 0,07 k_{пор} + 1,02 \quad (25)$$

$$f_{верхн} = -0,04 k_{пор}^2 + 0,59 k_{пор} + 1,05 \quad (26)$$

Исследовано влияние продолжительности времени хранения листьев в рулоне на изменение коэффициента трения f . Установлено, что с повышением коэффициента пористости материала - коэффициент трения увеличивается $k_{пор.}=0,21 - f_{ср.}=1,006$; $k_{пор.}=0,49 - f_{ср.}=1,172$; $k_{пор.}=0,83 - f_{ср.}=1,495$, а с течением времени хранения листьев в рулоне - коэффициент трения снижается.

Изучен состав свежееубранных листьев табака машинной уборки. Установлены 3 группы листьев по степени механических повреждений, их количественный состав и способы сушки (таблица 1).

Таблица 1 - Группы листьев при подготовке к сушке всеми способами сушки

Группа механических повреждений	Характеристика повреждений	Способ сушки
I	целые листья, листья табака с надорванной листовой пластинкой не более 30%	сушка любым существующим способом (на шнурах, в кассетах, в контейнерах) 58,6-74,3%
II	листья с повреждениями листовой пластинки не более 50% и размерами больше 225 см ² .	Искусственная сушка только на кассетах или в контейнерах 7,2-14,4%
III	III группа повреждений- части листьев, обрывки, размерами меньше 225 см ²	Искусственная сушка только в специальных контейнерах с мелкой ячейкой. 11,8-32,9%

Обоснован более эффективный способ сушки листьев машинной уборки- в искусственных условиях на кассетах или в контейнерах. Обоснована сортировка листьев при подготовке к сушке с разделением их на две фракции: **1-я фракция (крупный лист)** - листья с повреждениями I и II группы, так как интенсивность сушки листьев I и II групп отличается не более чем на 10% и их можно объединить и **2-я фракция (мелкий лист)** - листья с повреждениями III группы. Ограничение групп позволяет ввести прием механизированной сортировки массы листьев на уборочном комбайне путем сепарации. Выделять мелкие части листьев 2-й фракции в специальные съемные транспортно-технологические контейнеры, а листья 1-й фракции накапливать в контейнере

рулонного типа. Сепарация обеспечит однородность сырья 1-й фракции и повысит эффективность его послеборочной обработки.

Проведены поисковые исследования по временному хранению листьев в контейнере рулонного типа при перевозке и подготовке к сушке. Определен срок хранения листьев в мягкой таре без вентиляции - не более 2,5-3 суток, свыше которых начинается запарка (уровень тепловой денатурации $t=35-40^{\circ}\text{C}$), (рисунок 7). Установлено, что плотность рулона должна быть - не более 250 кг/м^3 и исходная влажность листьев - не более 88%, при соблюдении указанных условий обеспечиваются качественные показатели табачного сырья

- товарное качество в соответствии с ГОСТ 8073-77: 1 сорт - 72,4%,
2 сорт - 15,8%, 3 сорт - 11,8%;

- химический состав: никотин - 0,9 мг/сиг.; углеводы - 13,1%; белки - 5,0%, число Шмука - 2,62; смола - 22,0 мг/сиг. Высокое углеводно-белковое соотношение (число Шмука) доказывает положительное влияние применения кратковременного хранения листьев в рулонном контейнере - накопителе, где идет процесс томления при небольшом кислородном голодании листьев.

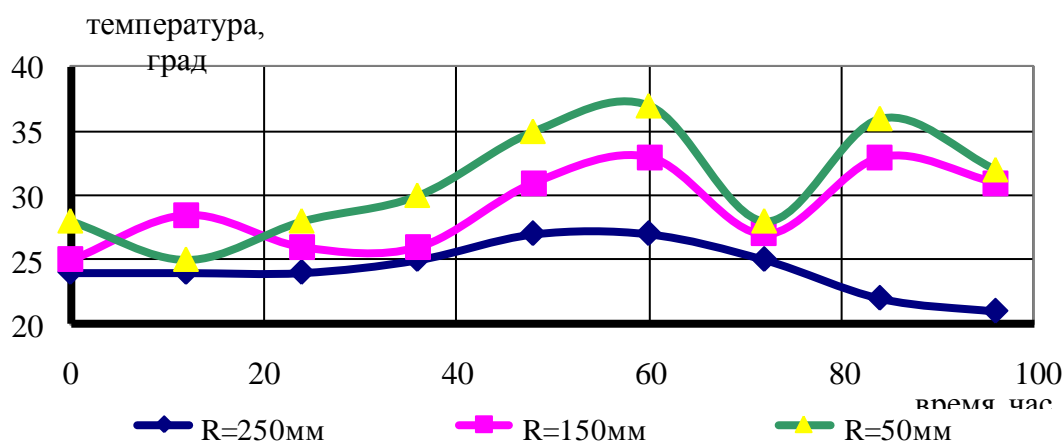
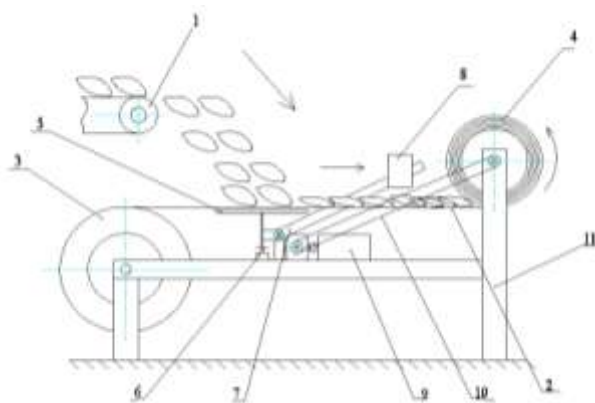


Рисунок 7 - Динамика распределения температур в контейнере рулонного типа в зависимости от его радиуса

Разработана принципиальная схема рабочего органа для накопления табачных листьев в рулонном контейнере-накопителе (рисунок 8).



1 - питающий транспортер; 2 - лента накопителя; 3- подающий барабан; 4- накопительный барабан; 5- площадка; 6 - датчик; 7- рычажный механизм; 8 – противовес; 9 - редуктор; 10 - цепная передача; 11- рама

Рисунок 8 - Схема рабочего органа для накопления листьев табака

Принцип работы состоит в следующем. При отсутствии листьев на ленте накопителя 2 над площадкой 5 рычажный механизм 7 с противовесом 8 находится в равновесии и лента не движется. С питающего транспортера 1 листья табака поступают на ленту 2, под их весом она прогибается и давит на площадку 5, рычажный механизм 7 выводится из равновесия и замыкает датчик 6, передающий сигнал на электродвигатель 9. Через цепную передачу 10 привод вращает приемный барабан 4, на который наматывается лента накопителя 2 с листьями. Как только участок ленты с листьями съезжает с площадки 5, рычажный механизм 7 возвращается в исходное положение, датчик 6 размыкается, приемный барабан 4 не вращается. Листья на ленте укладывают тонким слоем, для предотвращения слипания, фиксируются с наружной и внутренней стороны наматываемым материалом. Фиксацию листьев в рулоне обеспечивает шероховатая поверхность материала, препятствующая скольжению листьев по поверхности и их смещению от заданного положения. Намотка рулона с листьями идет в дискретном режиме при определенной удельной нагрузке.

Оптимизированы параметры рабочего органа для накопления листьев табака методом математического планирования многофакторного эксперимента.

Удельная нагрузка листьев табака на единицу площади поверхности накопителя принята в качестве критерия оптимизации рабочего органа.

Установлено влияние усилия срабатывания датчика контроля веса $P, H (X_1)$, расстояния от ограничителя до края платформы $L, \text{мм} (X_2)$ и частоты вращения приемного барабана $n \text{ мин}^{-1} (X_3)$ на удельную нагрузку $q (\text{кг/м}^2) (Y)$.

Уравнение поверхности отклика Y в кодированных значениях факторов в

зависимости от X_1, X_2, X_3 , имеет следующий вид:

$$Y = 7,6973 + 2,0464X_1 - 0,8334X_2 - 1,3277X_3 + 0,7112X_1^2 - 2,7931X_2^2 - 1,209X_3^2 - 0,516X_1X_2 - 0,2424X_1X_3 - 0,5712X_2X_3 \quad (27)$$

Для определения оптимальных значений факторов X_1, X_2, X_3 применен графический метод и получены контурные кривые равного выхода (рисунок 9).

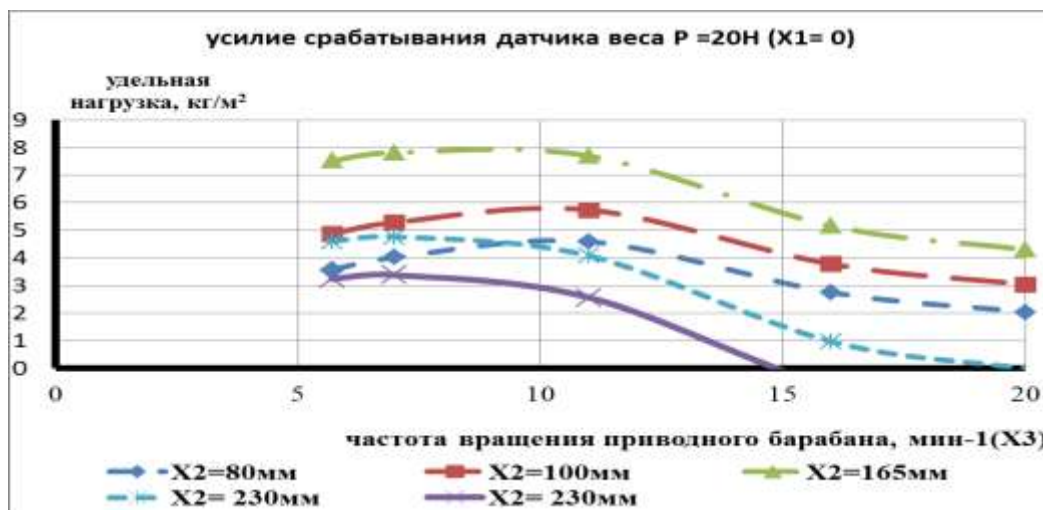


Рисунок 9 - Контурные кривые равного выхода

Анализ результатов многофакторного эксперимента показал, что возможные удельные нагрузки q (кг/м^2) листьев табака на единицу площади поверхности накопителя в зависимости от исследуемых факторов находятся в пределах от нуля до 11 кг/м^2 . Рекомендованы: усилие срабатывания датчика контроля веса – $10 \dots 30\text{Н}$; расстояние от ограничителя до края платформы – $80 \dots 165 \text{ мм}$; частота вращения приемного барабана – $11 \dots 16 \text{ мин}^{-1}$.

Оптимизацию параметров рабочего органа для транспортирования листьев - контейнера рулонного типа, проводили на основе анализа уравнения регрессии второго порядка, полученного при реализации трехфакторного эксперимента. В качестве критерия оптимизации принят коэффициент относительной убыли влаги $k_{yб.}(Y)$, представляющий отношение относительной убыли влаги исследуемых листьев к убыли влаги контроля.

Установлено влияние количества листьев в пачке $n_{\text{слоев}}(X_1)$, усилия натяжения материала $P_{\text{матер}}(X_2)$ и коэффициента пористости материала $k_{\text{пор}}(X_3)$ на коэффициент относительной убыли влаги $k_{yб.}(Y)$.

Уравнение поверхности отклика Y в кодированных значениях факторов в зависимости от X_1, X_2, X_3 , имеет следующий вид:

$$Y = 1,3379 - 0,477 X_1 + 0,1884 X_2 + 0,2372 X_3 + 0,339 X_1^2 - 0,051 X_2^2 - 0,225 X_3^2 - 0,166 X_1 X_3 + 0,0963 X_2 X_3 \quad (28)$$

Для определения оптимальных значений факторов X_1, X_2, X_3 применен графический метод и получены контурные кривые (рисунок 10).

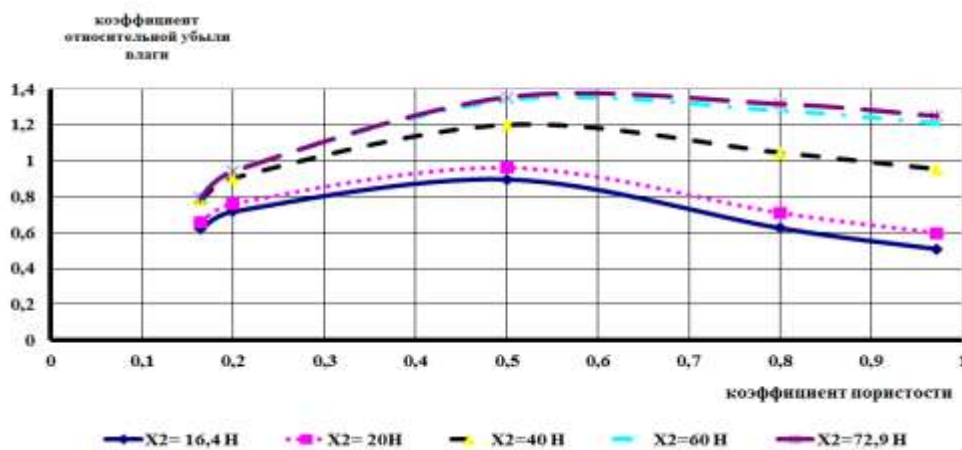


Рисунок 10 - Контурные кривые равного выхода

Определены наиболее эффективные режимы работы накопителя рулонного типа и соответствующие ему показатели качества работы: количество листов в пачке – 1...5 шт.; усилие натяжения материала – 60... 72,9 Н; коэффициент пористости – 0,5 ... 0,8.

Для подтверждения достоверности результатов экспериментальных исследований проведены ведомственные испытания установки для накопления листов табака в контейнере из ряда ($\kappa_{пор.}=0,21$) и крупной сетки ($\kappa_{пор.}=0,83$), по рекомендуемым режимам (рисунок 11).

Испытаниями установлено среднее снижение влагосодержания листов в рулоне с $\Phi=350$ мм, на 8,3% - 12,8% при $k_{yб.}=2$. Это соответствует результатам экспериментальных исследований, когда при нагрузке на слой листов из 5 шт. снижение влагосодержания составило 17,5% - 28% при $k_{yб.}=0,8...1,4$ (рисунок 10). Проведенные испытания подтвердили высокую достоверность результатов экспериментальных исследований.



Рисунок 11 - Испытание устройства для накопления листьев в рулоне

Предложена новая технологическая схема послеуборочной обработки табака, транспортируемого в контейнерах рулонного типа.

Разработана методика инженерного расчета параметров рабочих органов для накопления и транспортирования листьев в накопителе рулонного типа.

В пятой главе представлен расчет экономической эффективности по новой технологической схеме, которая в сравнении с существующей сократит затраты энергии на сушку на 10-15%, затраты труда на 61,3% и позволит получить годовой экономический эффект 11458,37 руб./га.

Общие выводы

1. Обоснована усовершенствованная функциональная схема табакоуборочного комбайна, включающая в себя устройство для накопления и транспортирования листьев табака в контейнере рулонного типа (патенты РФ - № 2264073 «Способ накопления и транспортирования листьев табака», № 2340156 «Устройство для накопления табачных листьев», № 101892 «Табакоуборочный комбайн») и теоретически обоснованы основные конструктивные, технологические и режимные параметры рабочего органа для накопления листьев табака и контейнера рулонного типа.

2. Выявлены закономерности влияния свойств применяемых материалов рулонного контейнера и продолжительности времени хранения листьев в рулоне на величину статического коэффициента трения. Установлено, что с повышением коэффициента пористости материала, коэффициент трения увеличи-

вается: $\kappa_{нор.}=0,21$ - $f_{ср.}=1,006$; $\kappa_{нор.}=0,49$ - $f_{ср.}=1,172$; $\kappa_{нор.}=0,83$ - $f_{ср.}=1,495$, а с течением времени хранения листьев в рулоне коэффициент трения снижается.

3. Обоснован способ накопления листьев 1-й фракции в контейнере рулонного типа, установлены оптимальные условия временного хранения листьев в контейнере при транспортировании, не снижающие их качества: исходная влажность - не выше 88%; плотность - не более 250 кг/м^3 ; время хранения не более 2,5 суток и предложена схема их послеуборочной обработки.

4. Оптимизированы основные параметры и режимы работы рабочего органа для накопления листьев табака: усилие срабатывания датчика контроля веса – 10...30 Н; расстояние от ограничителя до края платформы – 80...165 мм; частота вращения приемного барабана – 11...16 мин⁻¹.

Оптимизированы основные параметры и режимы функционирования контейнера рулонного типа: количество листьев в пачке – 1...5 шт.; усилие натяжения материала – 60...72,9 Н; коэффициент пористости – 0,5...0,8.

5. Разработана методика инженерного расчета рабочего органа для накопления и транспортирования листьев табака, позволяющая определить основные параметры и режимы работы устройств. Рекомендуемые параметры контейнера: ширина рулона – 1 м; количество слоев листьев на полотне $n_{\text{слоев}} = 3$; минимальная скорость перемещения гибкого материала рулона $V = 0,03 \text{ м/с}$.

6. Использование рабочих органов для накопления и транспортирования листьев табака в новой технологии снижает влагосодержание листьев при транспортировании и временном хранении на 8-12%, что позволяет сократить затраты энергии на сушку на 10-15%, а затраты труда на подготовку к сушке - в 2,6 раза и получить годовой экономический эффект 11458,37 руб./ га.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих изданиях:

1. Винеvская, Н.Н. Совершенствование технологии и технических средств для машинной уборки табака / Е.И. Винеvский, И.И. Дьячкин, Н.Н. Винеvская и др. // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2008. - № 5. – С. 78 - 80.

2. Винеvская, Н.Н. Новая техника для табаководства / Е. И. Винеvский, И. И. Дьячкин, Н.Н. Винеvская и др. // Достижения науки и техники АПК. – 2007, № 6. - С. 42-45.
3. Винеvская, Н.Н. Усовершенствование машинной уборки табака / Н.Н. Винеvская // Механизация и электрификация сельского хозяйства - 2011, №1. - С. 8-10.
4. Винеvская, Н.Н. Совершенствование технологического процесса машинной уборки табака / Н.Н. Винеvская, Г.Г. Маслов, Е.И. Трубилин // Сб. науч. тр. ВНИИТТИ - Краснодар, 2010. – Вып. 179.- С. 276-284.
5. Винеvская, Н.Н. Ресурсосберегающая технология накопления и транспортирования свежесобранных листьев табака / Е.И. Винеvский, О.О. Николов, Н.Н. Винеvская, А.И. Петрий // Сборник материалов XII Всероссийской научно-практической конференции РАСХН. - Углич, 2006. – С. 161-162.
6. Винеvская, Н.Н. Химический состав табачного сырья в зависимости от механических воздействий на свежесобранные листья табака / Е.И. Винеvский, Н.Н. Винеvская, И.И. Дьячкин, К.Г. Громов // Труды научно-практической конференции РАСХН. – Углич, 2005. - С. 55-58.
7. Винеvская, Н.Н. Новые технологические приемы и способы послеуборочной обработки листьев табака машинной уборки / Н.Н. Винеvская, Е.И. Винеvский, А.В. Огняник и др. // Сб. науч. тр. ВНИИТТИ - Краснодар, 2009. – Вып. 178. - С. 318-323.
8. Винеvская, Н.Н. Теоретические основы создания универсального комбайна для уборки табака КТУ-720 / Е.И. Винеvский, Н.Н. Винеvская, С.К. Папуша и др. // Сб. науч. тр. ВНИИТТИ - Краснодар, 2010. – Вып. 179. - С. 284-292.
9. Винеvская, Н.Н. Совершенствование технологического процесса машинной уборки табака / Н.Н. Винеvская // Научное обеспечение производства сельскохозяйственной продукции высокого качества и повышенной безопасности // Материалы региональной научно-практической конференции. Краснодар, 2011. - С. 156-161.

10. Методика инженерного расчета рабочих органов для накопления и транспортирования листьев табака в накопителе рулонного типа / Винецкий Е.И., Винецкая Н.Н., Маслов Г.Г. // ЦИИТЭИ - Рукопись аннотирована в 2.3 выпуске электронного издания БД «Агрос» №2/19794 в НПЦ «Информрегистр» - 2011.

Патенты РФ:

11. Пат. 2264073 РФ, МПК А01D45/16. Способ накопления и транспортирования листьев табака / Е.И. Винецкий, Н.Н. Винецкая, А. И. Петрий; заявитель и патентообладатель ВНИИТТИ. - № 2004114400; заявл. 11.05.2004; опубл. 20.11.2005, Бюл. № 32.

12. Пат. 2311013 РФ, МПК А01D45/16. Табакоуборочный комбайн/ Винецкий Е.И., Шидловский Е.В., Винецкая Н.Н., и др.; заявитель и патентообладатель ВНИИТТИ. - № 2006106854; заявл. 06.03.2006; опубл. 27.11.2007, Бюл. № 33.

13. Пат. 2340156 РФ, МПК А01D45/16. Устройство для накопления табачных листьев / Николов О.О., Винецкий Е.И., Винецкая Н.Н. и др.; заявитель и патентообладатель ГНУ ВНИИТТИ. - № 2007117878; заявл. 14.05.2007; опубл. 10.12.2008, Бюл. № 34.

14. Пат. 40846 РФ, МПК А01D45/16. Устройство для полистного разделения массы табачных листьев / Винецкий Е.И., Винецкая Н.Н., Огняник А.В., и др.; заявитель и патентообладатель ГНУ ВНИИТТИ.- №2004115243; заявл. 21.05.2004; опубл. 10.10.2004, Бюл. № 28.

15. Пат. 63164 РФ, МПК А01D45/16. Технологическая система для уборки листьев табака и подготовки их к сушке / Винецкий Е.И., Лысенко А.Е. Винецкая Н.Н. и др.; заявитель и патентообладатель ГНУ ВНИИТТИ. - №2005128463; заявл. 12.09.2005; опубл. 27.05.2007, Бюл. № 15.

16. Пат. 101892 РФ, МПК А01D45/16. Табакоуборочный комбайн / Н.Н. Винецкая, Е.И. Винецкий, Е.И. Трубилин и др.; заявитель и патентообладатель ГНУ ВНИИТТИ. - №210119864; заявл. 18.5.2010; опубл. 10.02.11, Бюл. № 4.