

На правах рукописи



**ПАПУША СЕРГЕЙ КОНСТАНТИНОВИЧ**

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ  
УНИВЕРСАЛЬНОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА ВАЛЬЦЕВОГО ТИПА ДЛЯ  
УБОРКИ ВЫСОКОСТЕБЕЛЬНЫХ КУЛЬТУР (НА ПРИМЕРЕ ТАБАКА)**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации  
сельского хозяйства (по техническим наукам)

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

Ростов-на-Дону – 2017

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина» (ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ) и Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий» (ФГБНУ ВНИИТТИ).

**Научный руководитель -** доктор технических наук, профессор  
**Виневский Евгений Иванович.**

**Официальные оппоненты -** **Жалнин Эдуард Викторович** доктор технических наук, профессор, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) /отдел «Механизация уборки и подготовки семян», заведующий.

**Ковалев Михаил Михайлович** доктор технических наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт механизации льноводства» (ФГБНУ ВНИИМЛ), научный руководитель.

**Ведущая организация -** Новокубанский филиал ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса» (КубНИИТиМ), г. Новокубанск.

Защита состоится «21» апреля 2017 г. в 11:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.058.05 на базе ФГБОУ ВПО «Донской государственный технический университет» (ДГТУ) по адресу: 344000, Россия, Ростов-на-Дону, Площадь Гагарина 1, ФГБОУ ВПО ДГТУ, аудитория № 252.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Донской государственный технический университет» и на сайте <http://www.donstu.ru>

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Е. М. Зубрилина

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Производство табака и табачных изделий является одной из стратегических отраслей агропромышленного комплекса нашей страны. Табак относится к наиболее трудоемким сельскохозяйственным культурам. Потребность промышленности в табачном сырье на сегодняшний момент велика. Это сырье находит широкое применение в фармацевтической промышленности, парфюмерном производстве, используется для производства средств биологической защиты растений, в производстве высококачественных и малотоксичных курительных изделий, а также других отраслях промышленности и сельского хозяйства. Зеленый молодой табак представляет собой великолепный исходный материал для генно-инженерных экспериментов и исследований. В целях дальнейшего повышения эффективности работы табачной отрасли в условиях импортозамещения необходимо повысить рентабельность производства табака, что возможно только с применением ресурсо- и энерго-сберегающих механизированных технологий, а механизация уборки листьев табака является актуальной проблемой.

**Степень разработанности темы исследований.** В области применения машин для уборки листьев табака достигнуты успехи в США, там используется технология производства табака сортотипов Вирджиния и Берлей.

В отечественной практике были затрачены большие средства для повторения, как технологии, так и технических средств для осуществления полного цикла уборки. Но разработчики столкнулись с рядом проблем, так как технические решения, применяемые в зарубежных машинах, не подлежат корректировке по параметрам, взаимосвязанных с разбросом урожайности и большой вариацией биометрических характеристик растений табака отечественной селекции. В нашей стране разработан и изготовлен ряд моделей машин для уборки табака сортов отечественной селекции, опытные образцы которых прошли испытания в зонах развитого табаководства. Однако эти разработки нашли внедрение только при уборке листьев средних ярусов.

Значительный вклад в разработку листоотделительных устройств внесли такие ученые как И.П. Леонов, С.М. Ложаев, М.Я. Молдован, А.П. Михайлов, В.И. Каценко, Новиков, Б.П. Подгорный, Е.И. Винеvский, Е.И. Флоренцев, В.Д. Розинцев.

Таким образом, разработка и исследование технологии уборки листьев табака отечественных сортоотделителей, а также создание универсальных рабочих органов, способных осуществлять уборку табачных листьев с минимальными потерями, является актуальной задачей.

**Целью настоящей работы** снижение потерь при уборке листьев табака, путем обоснования параметров и режимов работы универсального рабочего органа вальцевого типа.

**Задачи исследований:**

- проанализировать технологии, и технические средства механизации уборки табачных листьев.
- разработать конструктивно-технологическую схему универсального рабочего органа вальцевого типа и пневматического противореза для отделения листьев табака средних и верхних ломок.
- разработать математическую модель взаимодействия универсального рабочего органа вальцевого типа со стеблем и листом табака.
- разработать математическую модель, описывающую зависимость работы силы резания от конструктивно-технологических и биометрических параметров.
- экспериментально обосновать параметры и режимы работы универсального рабочего органа вальцевого типа для уборки табака средних и верхних ломок.
- разработать методику инженерного расчета, для определения основных параметров и режимов работы универсального рабочего органа вальцевого типа.
- определить экономическую эффективность внедрения универсального рабочего органа вальцевого типа.

**Научная новизна:** разработана физико-математическая модель взаимодействия листоотделительного аппарата со стеблем растения в процессе отделения листьев табака; выявлены зависимости для определения скорости и ускорения свободной точки кромки лезвия листоотделительного барабана; получены выражения для определения работы резания при отделении листа от стебля.

**Практическая значимость** заключается в усовершенствовании технологического процесса уборки листьев табака и разработке универсального рабочего органа вальцевого типа; разработке исходных требований на универсальный комбайн для уборки листьев табака средних и верхних ломок; в предложенной методике инженер-

ного расчета универсального рабочего органа для уборки листьев табака.

**Методология и методы исследования.** Базировалась на основе стандартных методик математического анализа, натурального эксперимента, статистической обработке и графической интерпретации полученных данных.

**На защиту выносятся следующие основные положения:**

1. Усовершенствованный технологический процесс уборки листьев табака;
2. Зависимости параметров и режимов работы универсального рабочего органа вальцевого типа для уборки высокостебельных культур от условий их эксплуатации;
3. Оптимальные параметры и режимы работы универсального рабочего органа вальцевого типа для уборки высокостебельных культур при отделении листьев табака средних и верхних ломок от стебля;
4. Методика инженерного расчета параметров универсального рабочего органа вальцевого типа для отделения листьев табака средних и верхних ломок;
5. Экономическая эффективность применения универсального рабочего органа вальцевого типа для отделения листьев табака от стебля средних и верхних ломок.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Достоверность работы подтверждена экспериментальными исследованиями, положительными результатами предварительных испытаний табакоуборочного комбайна КТУ-720 проведенных на опытных полях ФГБНУ ВНИИТТИ. Основные положения диссертации доложены и одобрены на научно-практических конференциях «Научное обеспечение агропромышленного комплекса» (ФГБОУ ВО КубГАУ 2003 – 2016 г.г.), «Проблемы повышения качества и безопасности табака и табачных изделий» (ГНУ ВНИИТТИ 2005-2015 г.г.); «Стратегия научного обеспечения развития конкурентоспособного производства отечественных продуктов питания высокого качества» (ВГТУ 2006 г.); «Совершенствование технологий производства и переработки продукции животноводства» Волгоградский государственный технический университет (ВГТУ 2005 г.). Исследования являются результатом выполнения государственных контрактов ГНУ ВНИИТТИ с департаментом сельского хозяйства и перерабатывающей промышленности Краснодарского края № 4.1.8/67 – 2006 по теме «Разработка усовершенствованной технологической схемы и рабочих органов технического средства для уборки табака», а также постановления Законодательного Собрания Краснодарского края от 21 апреля

2004 г. N 743-П Об утверждении программы «Производство табака и табачных изделий в Краснодарском крае» на 2004 - 2006 годы.

**Публикации результатов исследований.** По материалам исследований опубликовано 20 научных работ, включая статью в журнале, входящем в международную базу цитирования Scopus, 2 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ, получены три патента РФ на изобретения и один на полезную модель.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность исследований, сформулированы цель работы, научная новизна, практическая значимость и представлены основные положения, выносимые на защиту.

**В первом разделе «Современное состояние механизации уборки листьев табака»** приведен обзор способов уборки табака и применяемых при этом машин, исходные требования к качеству уборки листьев, обзор и анализ научно-исследовательских работ по теме исследования.

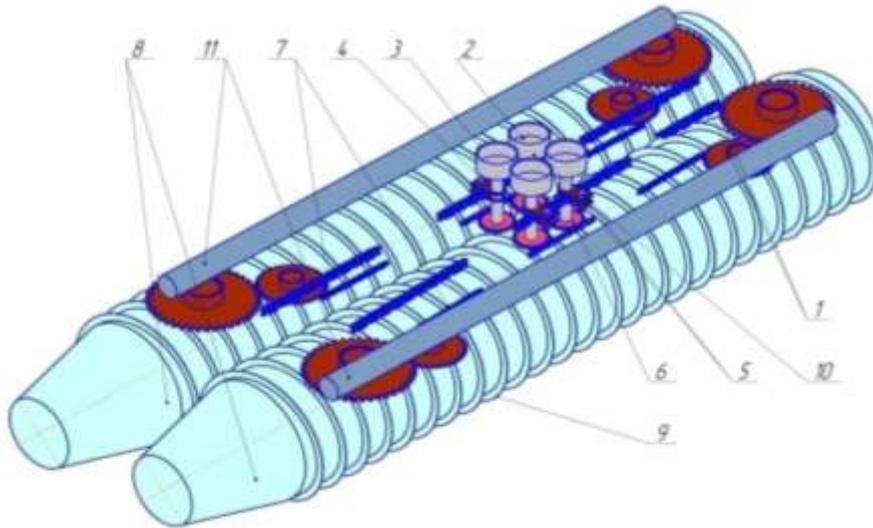
Анализ результатов теоретико-экспериментальных работ и технических решений в области создания машин для уборки табака и собственных версий показал существенное воздействие сил резания и взаимного расположения стебля и листоотделительных элементов на процесс листоотделения при уборке средних и верхних ломов. Поэтому принцип построения технологической схемы листоотделительного аппарата необходимо искать, исходя не только из способа отделения листьев.

**Во втором разделе «Аналитическое обоснование параметров рабочих органов для отделения листьев табака средних и верхних ломов»** изложено теоретическое обоснование параметров процесса листоотделения.

Программой теоретических исследований предусматривалось: обоснование способа отделения табачного листа от стебля; теоретическое обоснование параметров и режимов работы рабочих органов для отделения табачного листа от стебля.

При обосновании способа отделения табачного листа от стебля на основе анализа морфо-биологического строения растения табака, анализа результатов теоретико-экспериментальных работ и технических решений в области создания машин для уборки табака предложено использовать для уборки листьев табака универсальный рабочий орган вальцевого типа (рис. 1). Принцип работы предлагаемого аппарата за-

ключается в отделении единичных листьев растений от стебля с помощью вращающихся ножей-барабанов с использованием пневматической системы для прижимания листьев к ножам и валцов с винтовой навивкой – для предотвращения вырывания растений из почвы и сопровождения их в процессе отделения листьев.



1 – цепной контур; 2 – барабан; 3 – режущая кромка барабана; 4 – подшипниковая опора; 5 – палец; 6 – звездочка; 7 – дополнительный цепной контур; 8 – валец; 9 – винтовая поверхность вальца; 10 – листоотделяющая ячейка; 11 – воздуховод с соплами

Рисунок 1-Общий вид листоотделительного аппарата

*Теоретический анализ взаимодействия универсального рабочего органа вальцевого типа со стеблем табака.*

Для достижения эффективности работы данного аппарата необходимо чтобы стебель табака в процессе листоотделения был ориентирован относительно него по нормали. Чтобы стебель был перпендикулярен листоотделителю необходимо синхронизировать скорость перемещения стебля вальцами и его подачу в зону листоотделения, т.е. скорость движения машины  $V_M$ . На рис. 2 представлена схема взаимодействия стебля табака с рабочим руслом аппарата. В процессе взаимодействия стебля табака с листоотделительным аппаратом произвольная точка  $A$  стебля за время перемещается из положения  $A_1$  в  $A_2$ . Первым этапом для описания взаимодействия стебля табака с листоотделительным аппаратом является, составление уравнения движения произвольной точки  $A$ . Для этого расположим систему координат в конце зоны листоотделения как показано на рис. 2.

Движение точки  $A$  описывается уравнениями:

$$\begin{cases} X_A = V_M t - \pi D_0 t g \varphi_0 \omega_0 t \cos \alpha_0, \\ Y_A = V_M t \cos \gamma_0, \\ Z_A = H_H + \pi D_0 t g \varphi_0 \omega_0 t \sin \alpha_0. \end{cases} \quad (1)$$

где  $V_m$  – скорость движения машины, м/с;  $D_\delta$  – диаметр барабана, м;  $\varphi_\delta$  – угол подъема витка барабана, град.;  $\omega_\delta$  – угловая скорость вращения барабана, сек<sup>-1</sup>;  $\alpha_\delta$  – угол установки барабана к поверхности земли, град.;  $\gamma_\delta$  – угол установки барабанов друг к другу, град.;  $H_n$  – высота установки барабана относительно поверхности земли (высота начала ломки), м.

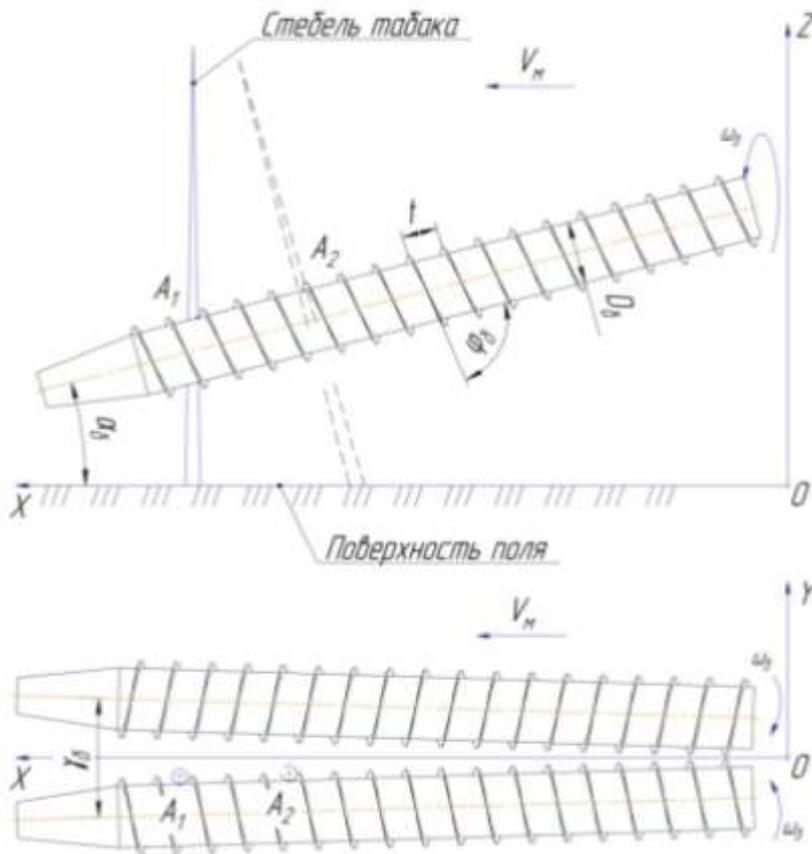


Рисунок 2 – Схема взаимодействия стебля табака с рабочим руслом листоотделительного аппарата

машина будет иметь более высокую производительность, то в качестве регулируемого параметра необходимо рассматривать  $\alpha_\delta$  – угол установки барабана к поверхности земли, который определяется по выражению:

$$\alpha_\delta = \arccos\left(\frac{\pi D_\delta \omega_\delta \operatorname{tg} \varphi_\delta}{V_m}\right). \quad (3)$$

Скорость движения машины ограничена агротехническими требованиями, а диаметр валцов конструктивными параметрами листоотделительного аппарата. На рис.3 представлены графики зависимости  $\varphi_\delta$  – угла подъема витка барабана и  $\alpha_\delta$  – угла установки барабана к поверхности земли от скорости движения уборочной машины.

Проанализировав выражение (3) можно сделать вывод, что оно имеет решение и физический смысл при выполнении неравенства:

Одним из наиболее важных конструктивных параметров является  $\varphi_\delta$  – угол подъема витка вальца. Так как частота вращения вальца и скорость движения машины конструктивно синхронизированы, то угол подъема витка будет определяться по выражению:

$$\varphi_\delta = \operatorname{arctg}\left(\frac{V_m \cos \alpha_\delta}{\pi D_\delta \omega_\delta}\right). \quad (2)$$

Ввиду того что, скорость движения машины при уборке табака по возможности должна быть как можно выше, т. е. уборочная

$$\omega_6 \leq \frac{V_M}{\pi D_6 \operatorname{tg} \varphi_6}. \quad (4)$$

Однако следует отметить, что при проектировании листоотделительного аппарата изначально необходимо задаваться конструктивными параметрами и проводить расчет по представленным выше выражениям.

*Теоретический анализ взаимодействия универсального рабочего органа вальцевого типа с листом табака.*

Согласно технологической схеме (рис. 1), отделение листа табака от стебля производится режущими барабанами, которые движутся со скоростью  $V_{p.a.}$  по замкнутому цепному контуру, при этом получая осевое вращение  $\omega_6$  за счет дополнительного контура.

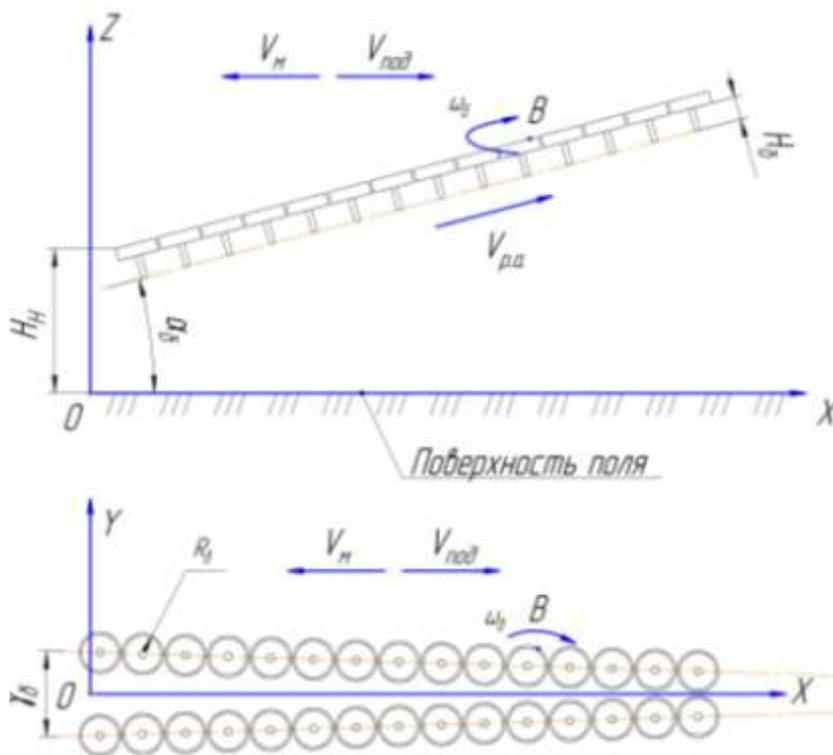


Рисунок 4 – Схема траектории движения кромки лезвия режущего барабана листоотделительного аппарата

Кроме того происходит перемещение машины по поверхности почвы со скоростью  $V_M$ , что также дополняет составляющие в силу резания кромки лезвия барабана. Для качественного среза листа табака необходимо провести анализ взаимодействия режущего барабана и листа табака, в том числе определить усилие резания  $R_0$ , поскольку это позволит определить силу противо-режущей части

(силу воздушного потока  $F_{дав}$  для удержания листа).

Рассмотрим траектории движения произвольной точки  $B$  кромки лезвия барабана за произвольный период времени  $t_в$  системе координат (рис. 4). В результате преобразований получили зависимость абсолютной скорости произвольной точки  $B$  кромки лезвия барабана в зависимости от конструктивных и режимных параметров:

$$V_B = \sqrt{A^2 + 2V_{p.a.}A + 2V_{nod}(\cos \alpha_{\delta} + \cos \gamma_{\delta})A + V_{nod}^2(1 + \cos^2 \gamma_{\delta}) + V_{p.a.}^2 + 2V_{nod}V_{p.a.} \cos \alpha_{\delta}}. \quad (5)$$

где  $V_{nod}$  – скорость подачи стебля табака в зону листоотделения, которая равна скорости движения машины,  $V_{nod} = V_M$  м/с;  $V_{p.a.}$  – скорость перемещения барабанов по цепному контуру, м/с;  $\alpha_{\delta}$  – угол установки барабанов к поверхности земли, град;  $\gamma_{\delta}$  – угол установки барабанов друг к другу, град;  $A = R_{\delta}\omega_{\delta} \cos \omega_{\delta} t$ .

Из выражения (5) видно, что на формирование абсолютной скорости кромки лезвия барабана наибольшее влияние оказывает скорость перемещения барабанов  $V_{p.a.}$  по цепному контуру, скорость подачи стебля табака  $V_{nod}$  в зону листоотделения, радиус  $R_{\delta}$  режущей кромки барабана и угловая скорость  $\omega_{\delta}$  вращения барабана.

Характер изменения абсолютной скорости по оси ОХ, которая по направлению совпадает с направлением перемещения срезанного листа, позволяет сделать вывод, что при срезе лист будет оставаться в зоне листоотделения, что позволит повысить полноту сбора. При этом ускорение произвольной точки  $B$  будет определяться по выражению:

$$a_B = R_{\delta}\omega_{\delta}^2 \sin \omega_{\delta} t. \quad (6)$$

*Теоретическое определение угла установки режущих барабанов.* Из конструктивно-технологической схемы представленной на рис.1 видно, что угол установки валцов друг к другу -  $\gamma$  и угол между траекториями движения режущих барабанов -  $\gamma_{\delta}$  конструктивно выполнены одинаковыми, однако их можно сделать отдельно регулируемые, поэтому угол установки режущих барабанов будем принимать как угол между траекториями движений. В процессе работы необходимо чтобы стебель проходил между барабанов без повреждений, т. е. образовывался технологический зазор  $S_{техн}$  (рис. 5). Кроме того, чтобы вращение барабанов происходило без заклинивания (ввиду клейкости листьев табака), необходимо также обеспечить конструктивный зазор  $S_{констр.}$  между соседними барабанами одной линии. Помимо этого, срез черешка не должен приводить к повреждению стебля и листа, т. е. складывается ограничение на удаленность барабанов от стебля, который в пределе будет равен длине черешка  $l_{чер.}$

На рис. 5 видно, что радиус барабана будет касаться заданных параметров в точках  $A, B, C$ . При составлении зависимости необходимо учесть биометрические параметры, т. е. то, что стебель табака представляет собой конус (рис. 6).

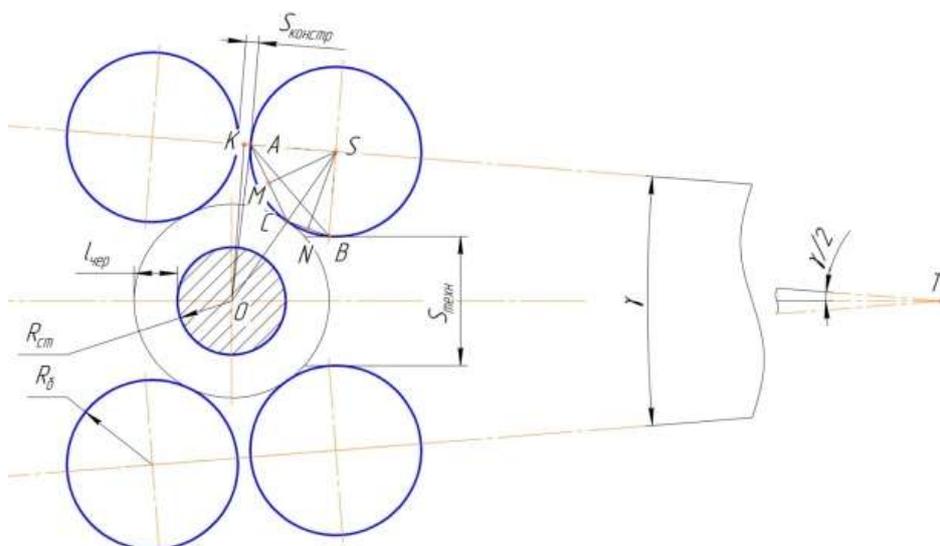


Рисунок 5 – Схема к определению угла установки барабанов

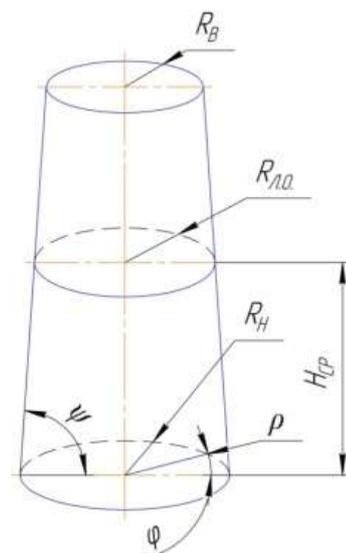


Рисунок 6 – Схема биометрических параметров стебля табака

С учетом вышеизложенного получили:

$$S_{техн} = L \sin \frac{\gamma}{2} - H_{\delta}, \quad (7)$$

$$\gamma = 2 \arcsin \left( \frac{R_H - \frac{H_{сп}}{tg(\psi \pm 3S_{\psi})} + 2S_{констр} \pm 3S_{R_H} + H_{\delta}}{L} \right), \quad (8)$$

где  $L$  – длина листоотделителя, м;  $H_{\delta}$  – высота установки режущих барабанов над вальцами, м;  $S_{техн}$  – технологический зазор, м;  $R_H$  – радиус стебля в начале ломки, м,  $H_{сп}$  – высота среза листа, м.  $\gamma$  – угол установки валцов друг к другу, град.

*Определение работы и силы резания черешка.* Сила резания при отделении черешка листа табака зависит от ускорения произвольной точки кромки лезвия барабана и массы самого барабана:

$$F_{рез} = m_{\delta} R_{\delta} \omega_{\delta}^2 \sin \omega t, \quad (9)$$

где  $F_{рез}$  – сила резания черешка, Н;  $m_{\delta}$  – масса барабана, кг.

Поскольку при отделении листа табака от стебля необходимо чтобы он не отклонялся под действием приложенной силы и занимал положение необходимое для качественного отделения, то при применении пневматического потока, в качестве противореза, его сила численно должна быть равна силе резания, т. е.:

$$F_{в.п.} = F_{рез}, \quad (10)$$

где  $F_{в.п.}$  – сила воздушного потока, Н.

Путь, пройденный барабаном при перерезании черешка, равен его диаметру, тогда учитывая выражение (9) работа силы резания будет:

$$A_{рез} = d_{чер} m_o R_o \omega_o^2 \sin \omega t, \quad (11)$$

где  $d_{чер}$  – диаметр черешка, м.

Необходимо отметить, что биометрический параметр - диаметр черешка имеет значительный разброс, что характерно для каждого сорта и условий произрастания растения. Поэтому, при определении работы резания параметр диаметр черешка надо брать как интервал  $d_{чер} \pm 3S_{d_{чер}}$ .

**В третьем разделе «Программа и методика экспериментальных исследований»** представлены программа и методика исследований универсального рабочего органа вальцевого типа для отделения листьев табака от стебля.

Экспериментальная часть работы была выполнена в лаборатории механизации и послеуборочной обработки табака ФГБНУ ВНИИТТИ. Исследования проводились на специально сконструированных приборах и установках, а также экспериментальном образце табакоуборочного комбайна КТУ-720. Обработка результатов экспериментальных исследований проводилась методами общей теории статистики. Для обработки результатов многофакторного эксперимента использовалась программы Excel, MathCAD.

**В четвертом разделе «Совершенствование рабочих органов для уборки листьев табака средних и верхних ломок»** представлены основные результаты лабораторных и полевых исследований универсального рабочего органа вальцевого типа для отделения листьев табака от стебля, а так же дан их анализ.

Анализ биометрических параметров растений и листьев табака периода технической зрелости позволил установить: диаметр стебля показал наличие существенной разницы между выборками и что различия между группами носят неслучайный характер. Так, средний диаметр стебля сорта Трапезонд составил 19,1 мм, а сорта Юбилейный 22,3 мм. Размерные характеристики листьев табака средних ломок имеют различия с листьями табака верхних ломок. Так, средний диаметр черешка листьев по годам одного сорта находился в диапазоне от 6 до 10 мм. Различия объясняются действием внешних факторов.

*Усилие среза табачного листа.* Для проведения данного исследования нами был изготовлен лабораторный стенд, представленный на рис.7. На валу электродвигателя укреплен нож идентичный используемым в лабораторной установке. Производилось определение работы резания крупных, средних и мелких листьев (рис. 8). Выяснилось — чем больше ширина и толщина черешка, тем больше работа резания.

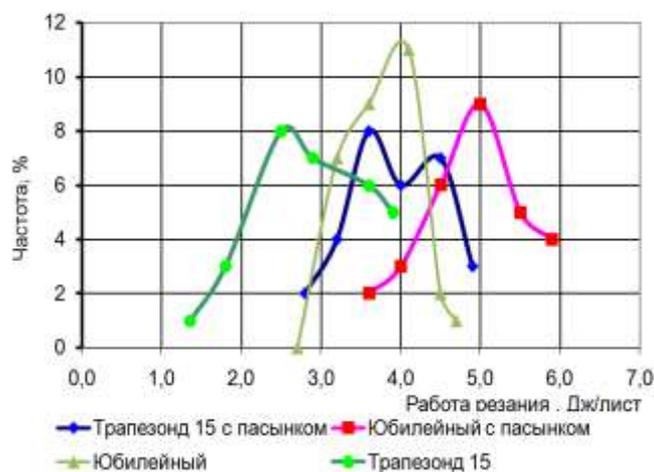


Рисунок 7 - Стенд для определения усилия среза (вид сверху)

Рисунок 8 - График эмпирического распределения работы резания

Сортовые различия не оказывали влияния на величину работы резания. Для оценки показателей функционирования универсального рабочего органа вальцевого типа для отделения листьев табака были произведены лабораторные и производственные испытания.

Лабораторные исследования рабочих органов аппарата для отделения листьев табака в несколько приемов проводились на универсальном гидромеханическом стенде. В ходе проведения опытов нами были определены диапазоны варьирования основных независимых факторов процесса отделения листьев табака от стебля в несколько приемов при помощи листоотделительного аппарата с активно вращающимися ножами и оснащенный дополнительно пневматической системой.

Все факторы распределены на две группы: кинематические параметры листоотделителя, общие параметры машины и листоотделителя. Основные кинематические факторы, влияющие на процесс листоотделения: частота вращения барабанов, угол наклона листоотделителя и скорость движения машины. Частота вращения барабанов варьируется от 0 до  $100 \text{ мин}^{-1}$  с интервалом  $10 \text{ мин}^{-1}$ . Угол наклона листоотделителя к горизонтальной плоскости изменялся от  $10^{\circ}$  до  $40^{\circ}$  с интервалом  $5^{\circ}$ . Скорость движе-

ния машины меняли от 1 до 5 км/ч интервалом 1 км/ч. В качестве критерия оптимизации приняли полноту сбора листьев табака.

Уравнения поверхности отклика в кодированных значениях факторов имеет следующий вид:

$$Y_1 = 62,53333 - 0,5215X_2 - 21,508X_3 + 21,6744X_1^2 - 7,93743X_2^2 + 21,566X_3^2 + 3,3X_1X_2 - 1,15X_1X_3 + 2,35X_2X_3 \quad (12)$$

где  $Y_1$  - полнота сбора листьев табака, %;  $X_1$  - частота вращения барабанов, мин<sup>-1</sup>;  $X_2$  - угол наклона листоотделителя, град;  $X_3$  - скорость движения машины, км/ч.

Для анализа полученных зависимостей приводили их к типовой канонической форме. После этого фиксировали один из параметров в области оптимального значения, а другие начинали варьировать. Полученные графики (рис. 9–11) рассекали плоскостью для изучения степени влияния каждого из факторов. При анализе поверхностей зависимости полноты сбора при средней ломке в зависимости от факторов видно, что наибольшее влияние оказывает частота вращения барабана, а наименьшее – скорость движения машины. Анализ графиков показывает интервал значений частоты вращения барабанов и угла наклона листоотделителя необходимые для достижения максимальных значений параметров оптимизации при использовании машины для уборки средних ломок. Таким образом, для достижения оптимальной полноты сбора листьев табака необходимо обеспечить частоту вращения барабанов 60 - 70 мин<sup>-1</sup>, а угол наклона листоотделителя 25 - 30° при скорости движения машины 2,5 км/ч. Подставив полученные данные в уравнение (12) получим максимальное значение полноты сбора листьев  $Y_1=96.1-98.2\%$ .

$$x_1 = 0,0099 \quad x_2 = 0,0427 \quad x_3 = 0,4966$$

$$Y_1 - 57,1818 = 21,7661x_1^2 - 8,0291x_2^2$$

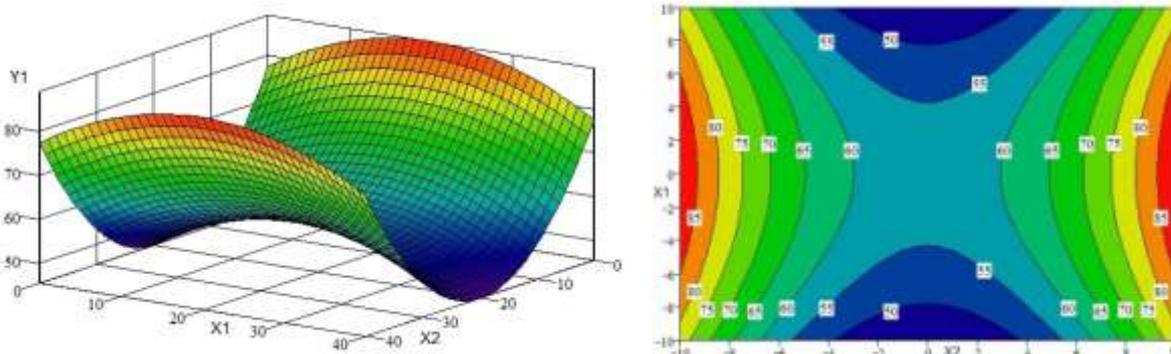


Рисунок 9 – Поверхность зависимости полноты сбора при средней ломке от частоты вращения барабанчиков и угла наклона листоотделителя

$$Y_1 - 57,1818 = 22,1977x_1^2 + 21,0427x_3^2$$

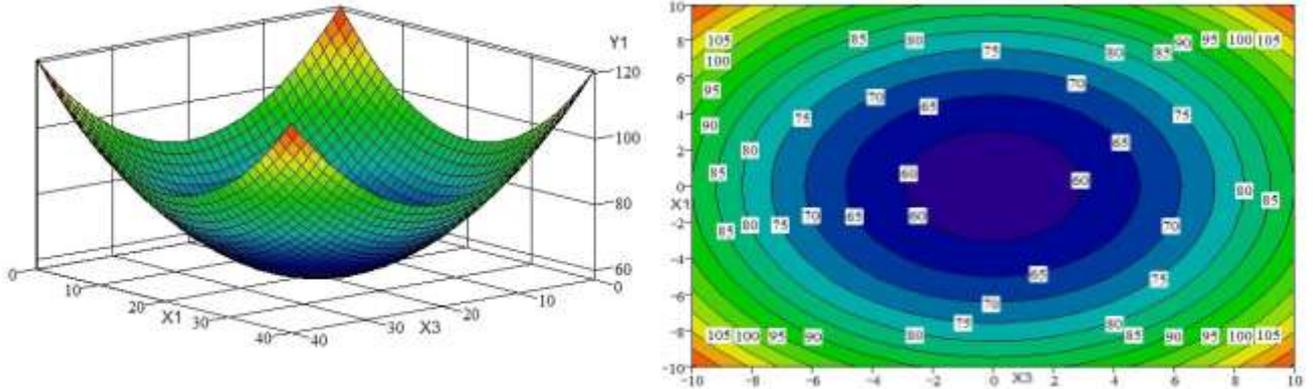


Рисунок 10 – Поверхность зависимости полноты сбора при средней ломке от частоты вращения барабанчиков и скорости движения машины

$$Y_1 - 57,1818 = -7,9842x_2^2 + 21,6127x_3^2$$

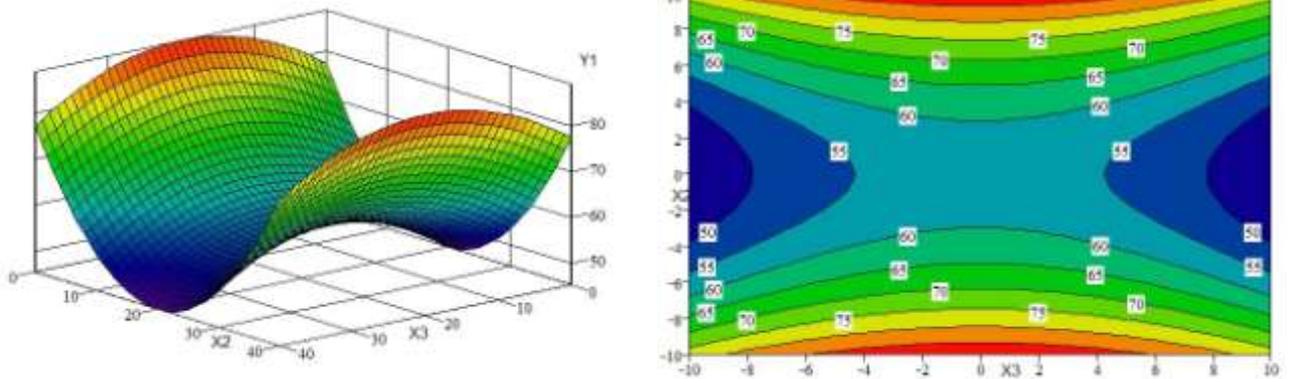


Рисунок 11 – Поверхность зависимости полноты сбора при средней ломке от угла наклона листоотделителя и скорости движения машины

*Влияние основных кинематических факторов на полноту отделения листьев при уборке листьев верхних ломок.* Для проведения оценки влияния основных кинематических факторов на полноту отделения листьев при уборке листьев верхних ломок, пользовались методикой описанной ранее. При этом получили уравнение поверхности отклика в кодированных значениях факторов, адекватно описывающее влияния факторов на полноту сбора листьев табака (13).

$$Y_1 = 67,147 + 13,13X_1 - 0,865X_3 + 17,168X_1^2 - 18,81X_2^2 + 24,34X_3^2 + 2,5X_1X_2 + 3,25X_1X_3, \quad (13)$$

Результаты анализа полученных зависимостей показывают что для достижения максимальной полноты сбора при уборке листьев табака верхних ломок необходимо обеспечить частоту вращения барабанов  $40-50 \text{ мин}^{-1}$ , а угол наклона листоотделителя  $22-25^\circ$  при скорости движения машины  $3,5 \text{ км/ч}$ . При этом максимальное значение полноты сбора листьев  $Y_1=95.1-97.2\%$ .

Полевые исследования экспериментального аппарата (рис. 12) для отделения листьев табака от стебля проводили на специально изготовленном табакоуборочном комбайне (рис. 13).



Рисунок 12 - Листоотделительный аппарат универсального комбайна для уборки листьев табака средних и верхних ломок КТУ – 720



Рисунок 13 - Общий вид экспериментального образца универсального комбайна для уборки листьев табака средних и верхних ломок КТУ – 720

В сравнении с ранее разработанным листоотделительным аппаратом, установленным на табакоуборочной машине МТПГ – 1М, предложенный нами листоотделительный аппарат, имеет следующие преимущества. За счет применения сопровождающих вальцов снизилось количество выдернутых из почвы растений; за счет применения пневматической системы для отгиба и разведения листьев улучшилось качество среза, и облегчился процесс выноса листьев из зоны отделения, следовательно, уменьшилось травмирование листовой пластинки; полнота сбора листьев табака повысится на 5%.

**В разделе 5** представлена методика расчета параметров рабочих органов для отделения листьев табака от стебля, которая может быть использована при проектировании и настройке аппарата для отделения листьев табака от стебля средних и верхних ломок. В результате расчета получены следующие параметры и режимы работы листоотделительного аппарата: угол раскрытия пассивных направителей –  $\alpha = 48^{\circ}$ ; диаметр протягивающего вальца –  $D_{\text{в}}=0.62$  м; частота вращения вальцов –  $\omega_{\text{в}}=42.2$  мин<sup>-1</sup>; угол установки вальцов к поверхности земли –  $\alpha_{\text{в}}=11.4^{\circ}$ ; скорость движения листоотделительного контура –  $V_{\text{ц}}=2.6$  км/ч; шаг винта шнека –  $t=95.8$  мм; угол установки ба-

рабанов друг к другу –  $\gamma=1.5^0$ ; радиус режущей кромки листоотделительного барабана –  $R_6=40$ мм технологический зазор  $S_{\text{техн}} – 6$  мм; ширина листоотделителя –  $B=0.5$  м; сила воздушного потока –  $F_{\text{в.п}}=7.1$ Н.

**В разделе 6** определена экономическая эффективность применения универсального рабочего органа вальцевого типа для уборки высокостебельных культур. Применение усовершенствованного листоотделительного аппарата для отделения листьев табака от стебля, укомплектованного пневматической системой позволяет уменьшить возвратимые потери листьев и увеличить полноту сбора листьев. Годовой экономический эффект от внедрения составляет 1118939,3 руб., а его окупаемость менее одного сезона. Это свидетельствует об эффективности капиталовложений в усовершенствование листоотделительного аппарата для отделения листьев табака от стебля.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе анализа выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1. В результате анализа технологий, способов и средств механизации уборки табачных листьев, установлено, что в настоящее время машинная уборка листьев табака осуществляется в два прохода: уборка листьев табака средних ломок и уборка листьев табака верхних ломок. Недостатком конструкций существующих табакоуборочных машин является то, что для уборки каждой ломки листьев табака необходимо устанавливать специальные листоотделительные рабочие органы.

2. Разработана конструктивно-технологическая схема универсального рабочего органа вальцевого типа для уборки высокостебельных культур, содержащего пару бесконечных цепных контуров, на которых установлены активно вращающиеся барабаны, образующими в рабочей зоне листоотделяющие ячейки. Рабочий орган так же оснащен парой вальцов, предотвращающих вырывание растений из почвы и пневматическим противорезом для удержания листа в процессе резания. Новизна технического решения подтверждена двумя патентами РФ на изобретение № 2312486 «Аппарат для отделения листьев табака» и №2335117 «Аппарат для отделения листьев табака».

3. На основе математических моделей технологического процесса отделения листьев табака средних и верхних ломок получены выражения, характеризующие траекторию и абсолютную скорость произвольной точки витка вальца; получены вы-

ражения, позволяющие определить конструктивно-технологические параметры для ориентации стебля табака; получены выражения, позволяющие определить ускорение произвольной точки кромки лезвия барабана.

4. На основе математических моделей технологического процесса отделения листьев табака получены зависимости силы резания режущего барабана (9) и работы силы резания (11) при перерезании черешка от конструктивно-технологических и биометрических параметров процесса.

5. На основе проведенных многофакторных экспериментов можно сделать вывод, что оптимальными параметрами и режимами работы являются:

~ при уборке листьев табака средних ломок для достижения оптимальной полноты сбора необходимо обеспечить частоту вращения барабанов 60-70 оборотов в минуту, а угол наклона листоотделителя 25-30 градусов при скорости движения машины 2,5 км/ч;

~ при уборке листьев табака верхних ломок для достижения оптимальной полноты сбора необходимо обеспечить частоту вращения барабанов 40-50 оборотов в минуту, а угол наклона листоотделителя 22-25 градусов при скорости движения машины 2 км/ч.

6. На основании теоретических и экспериментальных исследований предложена методика инженерного расчета, позволяющая определять основные параметры и режимы работы рабочих органов аппарата для отделения листьев табака средних и верхних ломок от стебля, исходя из физико-механических свойств растений табака.

7. Испытаниями экспериментального образца универсального комбайна для уборки листьев табака установлено, что применение его позволяет повысить полноту сбора листьев табака на 5%. Применение предложенных рабочих органов комбайна для уборки листьев табака средних и верхних ломок позволит получить экономический эффект от внедрения свыше 1118 тыс. руб. за счет повышения производительности труда в сравнении с существующей технологией.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**

**Статьи в изданиях из перечня ВАК**

1. Новая техника для табаководства. Лысенко А.Е. Дьячкин И.И. Винеvская Н.Н. Попов Г.В. Петрий А.И. Папуша С.К. Громов К.Г. Шидловский Е.В. Огняник А.В. Ж. «Достижения науки и техники АПК», 2007, № 6, с.42-45

2. Совершенствование технологии и технических средств для машинной уборки табака. Винецкий Е.И., Дьячкин И.И., Винецкая Н.Н., Петрий А.И., Шидловский Е.В., Папуша С.К. «Хранение и переработка сельхозсырья». 2008. № 5.

**В журналах, включенных в международную реферативную базу данных Scopus**

3. Papusha S.K. Theoretical studies of the tobacco stalk interaction with the leaf-separating unit / S.K. Papusha , S.V. Belousov , A.E. Bogus , V.I. Konovalov // International Journal of Applied Engineering Research ISSN 09734562 Volume 11, Number 8 (2016) pp 5610-5613.

**Патенты**

4. Патент РФ на полезную модель № 63164. Технологическая система для уборки листьев табака и подготовки их к сушке / Винецкий Е.И. Лысенко А.Е. Винецкая Н.Н. Дьячкин И.И. Поярков И.Б. Петрий А.И. Громов К.Г. Папуша С.К. Николов О.О. Шидловский Е.В. Огняник А.В./ опубликован 27.05.2007г. бюл. № 15

5. Патент РФ на изобретение №2311013. Табакоуборочный комбайн / Шидловский Е.В., Винецкий Е.И. Винецкая Н.Н., Поярков И.Б., Петрий А.И., Дьячкин И.И., Папуша С.К. опубликован 27.11.2007. Бюл. № 33

6. Патент РФ на изобретение № 2312486 Аппарат для отделения листьев табака / Папуша С.К. Винецкий Е.И. Лысенко А.Е. Поярков И.Б. Дьячкин И.И. опубликован 20.12.2007. Бюл. № 35.

7. Патент РФ на изобретение № 2335117 Аппарат для отделения листьев табака / Папуша С.К. Винецкий Е.И., Поярков И.Б. Лысенко А.Е. Дьячкин И.И. опубликован 10.10.2008. Бюл. № 28.

**Статьи в сборниках научных трудов, материалах научных конференций и прочие публикации**

8. Папуша, С.К. Проблемы механизации уборки листьев табака / С.К. Папуша // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: матер. 5-й регион. науч.-практ. конф. молодых ученых (18-19 дек. 2003 г.) / КГАУ. – Краснодар, 2003. – С.216-217.

9. Папуша, С.К. Совершенствование технологического процесса отделения листьев от стебля табачного растения машинным способом / С.К. Папуша // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: матер. 6-й регион. науч.-практ. конф. молодых ученых (9-10 дек. 2004 г.) / КГАУ. – Краснодар, 2004. – С.228-229

10. Папуша, С.К. Теоретическое обоснование основных технологических параметров рабочих органов отделения листьев табака от стебля / Е.И. Винецкий, С.К. Папуша // Совершенствование технологии производства и переработки продукции животноводства: матер. Всерос. науч.- практ. конф. (23-24 июня 2005г.) / ГУ ВНИТИММС и ППЖ.- Волгоград, 2005. – С.313-317.

11. Обоснование технологического процесса отделения листьев табака от стебля. Папуша С.К. Приоритетные направления комплексных научных исследований в области производства, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции: труды РАСХН, отделение хранения и переработки сельскохозяйственной продукции (7-9 сентября 2005г.)/ Углич, 2005. - С.61-64.

12. Снижение производственных затрат и усовершенствованный тех процесс уборки Материалы 7-ой научно-практической конференции молодых учёных. – Краснодар: КГАУ, 2005. – С.204 – 205.

13. Разработка усовершенствованных рабочих органов для отделения листьев табака от стебля. Научно-практическая конференция молодых ученых «Научное обеспечение агропромышленного комплекса» Краснодар КГАУ 2007.

14. Папуша, С.К. Основные технологические параметры рабочих органов для отделения листьев табака от стебля /С.К. Папуша, Е.И. Винецкий // Проблемы повышения качества и безопасности табака и табачных изделий: матер. Всерос. науч.-практ. конф. (28 сентября – 1 октября 2005 г.) / ГНУ ВНИИТТИ. – Краснодар, 2005. – С.193 – 201.

15. Оптимизация параметров и режима работы рабочих органов для отделения листьев табака от стебля / С.К. Папуша // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: матер. VII регион. науч.- практ. конф. молодых ученых (8-9 дек. 2005 г.). – Краснодар: КубГАУ, 2005. – С.249-250.

16. Папуша, С.К. Влияние технологической уборки на качество листьев табака /С.К. Папуша // Стратегия научного обеспечения развития конкурентоспособного производства отечественных продуктов питания высокого качества: матер. Всерос. науч.- практ. конф. (27-28 июня 2006 г.). – Волгоград, 2006. – Ч.1. – С.371-373.

17. Папуша, С.К.Снижение производственных затрат и усовершенствованный тех процесс уборки / С.К. Папуша // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: матер. VII регион. науч.- практ. конф. молодых ученых (8-9 дек. 2005 г.). – Краснодар: КубГАУ, 2007. – С.212-250.Папуша, С.К.

18. Папуша С.К Теоретическое обоснование параметров и режимов работ рабочих органов для уборки листьев табака средних и верхних ломок. Сб. докладов конференции-конкурса научно-инновационных работ молодых учёных и специалистов за 2009 год (5 дек. 2009 г.). – М., 2009.

19. Винецкий Е.И. Винецкая Н.Н. Огняник А.В., Папуша С.К Влияние механизации процессов уборки и подготовки листьев табака к сушке на энергоёмкость его послеуборочной обработки. Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Инновационные исследования и разработки для научного обеспечения производства и хранения экологически безопасной сельскохозяйственной и пищевой продукции» ГНУ ВНИИТТИ. – Краснодар, 2015. – С.193 – 201.

20. Папуша С.К. Процесс резания табачного листа кольцевым ножом / С.К.Папуша/ Научное обеспечение агропромышленного комплекса Сборник статей по материалам IX Всероссийской конференции молодых ученых. Ответственный за выпуск: А.Г. Коцаев.- 2016.- с. 381-382.

21. Папуша С.К. Теоретическое исследование взаимодействия стебля табака с листоотделительным аппаратом //С.К. Папуша, В.И. Коновалов, Е.И. Винецкий / Научное обеспечение инновационных технологий производства и хранения сельскохозяйственной и пищевой продукции сборник материалов III Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и аспирантов. Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий.- 2016.- с. 176-183.

---

В печать 20.02.2017 г.

Объем 1,0 п.л. Формат 60×84 1/16.

Бумага офсетная. Заказ № 85. Тираж 100 экз.

---

Типография

Кубанского государственного аграрного университета имени И. Т. Трубилина

Адрес: 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13.