

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ОРДЕНОВ  
ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ И ТРУДОВОГО КРАСНОГО  
ЗНАМЕНИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

На правах рукописи  
УДК 631.354.2(043.3)

**КОВАЛЕВСКИЙ**  
Владимир Федорович

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ СЕПАРАЦИИ ЗЕРНА ИЗ ВОРОХА  
КЛАВИШНЫМИ СОЛОМОТРЕСАМИ КОМБАЙНОВ  
ПРИМЕНЕНИЕМ ПРУЖИННО-ПАЛЬЦЕВЫХ АКТИВАТОРОВ**

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

по специальности 05.20.01 – технологии и средства  
механизации сельского хозяйства  
(технические науки)

**Горки, 2021**

Научная работа выполнена в учреждении образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия» (УО БГСХА).

Научный  
руководитель –

**Клочков Александр Викторович**, доктор технических наук, профессор кафедры сельскохозяйственных машин учреждения образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия».

Официальные  
оппоненты:

**Шаршунов Вячеслав Алексеевич**, доктор технических наук, профессор кафедры охраны труда и экологии учреждения образования «Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий», Заслуженный деятель науки Республики Беларусь, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси;

**Коцуба Виктор Иосифович**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технического сервиса и общеинженерных дисциплин учреждения образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия».

Оппонирующая  
организация –

РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства».

Защита состоится «23» декабря 2021 г. в 11<sup>00</sup> часов на заседании совета по защите диссертаций Д 05.30.02 при учреждении образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия» по адресу: 213407, Республика Беларусь, Могилевская обл., г. Горки, ул. Мичурина, 5, корпус 8, ауд. 334, e-mail: kancel@baa.by, тел.: (02233) 7-97-25.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке УО БГСХА.  
Автореферат разослан «02» ноября 2021 г.

Ученый секретарь совета  
по защите диссертаций  
кандидат технических наук, доцент

С. В. Курзенков

## ВВЕДЕНИЕ

В Республике Беларусь более половины посевных площадей ежегодно занимают зерновые культуры, для уборки которых используются зерноуборочные комбайны. Отмечается тенденция сокращения численности комбайнового парка с одновременным переходом на использование зерноуборочных комбайнов отечественного производства. При этом урожайность зерновых и зернобобовых культур увеличивается. Данная ситуация обуславливает необходимость интенсификации работы и повышения производительности зерноуборочных комбайнов с сохранением требований к качеству выполнения технологического процесса [1, 2, 5].

Сокращение потерь зерна при комбайновой уборке является важнейшим элементом современных технологий. Современные зерноуборочные комбайны имеют потенциальные возможности для проведения уборки с минимальными затратами [13]. Оценивая возможности рабочих органов комбайна, следует отметить, что клавишные соломотрясы сдерживают рост производительности и не имеют технологических регулировок для адаптации к изменяющимся условиям работы [3]. В связи с этим разработка и использование активаторов для уменьшения потерь зерна за соломотрясом зерноуборочного комбайна путем его сепарации из соломистого вороха является актуальной задачей [18, 22].

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Связь работы с научными программами и темами.** Диссертационная работа выполнена в соответствии с Государственной программой прикладных научных исследований на 2011–2015 годы (раздел 7. Машиностроение. Системы и комплексы сельскохозяйственных машин. Контроль и диагностика в машиностроении). Соответствует Республиканской программе оснащения современной техникой и оборудованием организаций агропромышленного комплекса, строительства, ремонта, модернизации производственных объектов этих организаций на 2011–2015 годы, утвержденной Указом Президента Республики Беларусь от 24 января 2011 г. № 35. Отвечает пункту 9 «Агропромышленный комплекс и продовольственная безопасность» постановления Совета Министров Республики Беларусь от 12 марта 2015 г. № 190. Соответствует Государственной научно-технической программе «Машиностроение и машиностроительные технологии» на 2016–2020 годы.

**Цель и задачи исследования.** Целью исследований является интенсификация сепарации зерна из вороха на клавишном соломотрясе

зерноуборочного комбайна за счет сепарирующего воздействия на слой соломистого вороха применением пружинно-пальцевых активаторов (ППА).

Для достижения поставленной цели необходимо:

- исследовать процесс выделения зерна из слоя соломистого вороха соломотрясом с учетом сепарирующего воздействия ППА;
- провести теоретический анализ рабочего процесса клавишного соломотряса с ППА, обосновать конструкцию и исследовать основные параметры ППА, разработать методики экспериментальных исследований;
- определить параметр оптимизации работы ППА, выявить действующие факторы и построить математическую модель процесса;
- экспериментально уточнить и проверить достоверность теоретических исследований рабочего процесса ППА соломотряса зерноуборочного комбайна;
- реализовать полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований клавишного соломотряса с установленными ППА на зерноуборочном комбайне и определить экономическую эффективность их использования.

**Научная новизна** работы заключается в получении аналитических зависимостей, описывающих процесс воздействия ППА на соломистый ворох; в разработке методик лабораторных и полевых исследований по определению действующих усилий на пруток при деформации слоя соломистого вороха, закономерностей сепарации зерна из слоя соломистого вороха при различной объемной массе и разных режимах протряхивания, а также моделирования рабочего процесса ППА; в получении уравнений регрессии, позволивших оптимизировать параметры ППА; в получении патентов Республики Беларусь на полезные модели № 10288 «Соломосепаратор зерноуборочного комбайна» [23] и № 11506 «Соломотряс зерноуборочного комбайна» [24].

Новизна технических решений подтверждена справками о возможном практическом использовании результатов исследования ОАО «Гомсельмаш», актами о практическом использовании результатов исследования, а также протоколом сравнительных производственных испытаний серийного клавишного соломотряса и клавишного соломотряса с установленными пружинно-пальцевыми активаторами.

**Положения, выносимые на защиту:**

- аналитические зависимости, описывающие параметры движения соломистого вороха в процессе работы клавишного соломотряса с пружинно-пальцевыми активаторами и определяющие их конструкцию с учетом влияния основных действующих факторов;

– методики исследований по определению действующих усилий на прутки ППА при деформации слоя соломистого вороха, закономерностей выделения зерна из слоя вороха при различной объемной массе вороха и разных режимах работы, моделированию рабочего процесса соломотряса с пружинно-пальцевыми активаторами;

– уравнения регрессии, описывающие процесс колебаний пальцев пружинно-пальцевого активатора с учетом основных действующих факторов и позволяющие оптимизировать процесс воздействия на соломистый ворох конца пальца активатора;

– научно обоснованная конструкция пружинно-пальцевых активаторов с оптимизированными конструктивными параметрами и результаты экспериментальных исследований зерноуборочных комбайнов КЗС-1218 «ПАЛЕССЕ GS 12» с установленными на клавишах соломотряса пружинно-пальцевыми активаторами.

**Личный вклад соискателя** заключается в самостоятельном проведении теоретических и экспериментальных исследований и анализе их результатов, подготовке публикаций, выступлении с докладами на научно-технических конференциях, защите приоритета научных разработок путем опубликования патентов на полезную модель.

**Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов.** Основные результаты исследований по теме диссертации доложены и одобрены на Международной научно-практической конференции «Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства», БГСХА, Горки, 12–14 декабря 2013 г.; на III Международной научно-практической конференции «Специалист XXI века», БарГУ, Барановичи, 4–5 июня 2014 г.; на Международной научно-практической конференции «Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства», БГСХА, Горки, 18 декабря 2015 г.; на Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в производстве сельскохозяйственной продукции», БГАТУ, Минск, 2–3 июня 2015 г.; на XVI Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления», ГГТУ, Гомель, 28–29 апреля 2016 г.; на Международной научно-практической конференции «Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса АПК», БГАТУ, Минск, 9 июня 2016 г.; на Международной научно-практической конференции «Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства», БГСХА, Горки, 21–22 декабря 2016 г.; на Международной научно-практической конференции «Инновационные

технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра», Гомель, 21–22 декабря 2017 г.

**Опубликование результатов диссертации.** По теме диссертационной работы опубликованы 25 печатных работ объемом 14,43 авторского листа, в том числе: 10 печатных работ объемом 4,81 авторского листа – в научных журналах и сборниках, рекомендованных ВАК Республики Беларусь; 12 – в сборниках материалов и тезисов научных конференций, научно-популярных журналах объемом 3,12 авторского листа; 2 патента Республики Беларусь на полезную модель объемом 0,22 авторского листа; 1 рекомендация объемом 6,28 авторского листа; 3 печатные работы опубликованы без соавторов.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, основной части из пяти глав, заключения, библиографического списка и приложений, включающих результаты экспериментальных исследований, копии документов об апробации и внедрении полученных результатов. Полный объем диссертации составляет 180 страниц и включает 86 рисунков, 21 таблицу, библиографический список из 102 использованных источников, перечень 25 публикаций автора на 3 страницах.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

**Во введении** охарактеризована проблема снижения потерь зерна при уборке зерновых культур, обоснована актуальность исследований клавишных соломотрясов и активизирующих устройств для увеличения сепарации зерна из слоя соломистого вороха сельскохозяйственных культур.

**В первой главе** «Состояние вопроса, цель и задачи исследований» установлено, что в составе парка зерноуборочных комбайнов преобладает отечественная техника ОАО «Гомсельмаш».

В связи с тем что количество комбайнов с каждым годом уменьшается, а урожайность убираемых культур увеличивается, возрастает нагрузка на один зерноуборочный комбайн. Важным аспектом является сокращение потерь зерна за соломотрясом [11, 14].

Разработками вопроса по интенсификации процесса сепарации зерна на соломотрясе занимались В. П. Горячкин, М. Н. Летошнев, И. Ф. Василенко, Н. Е. Авдеев, А. Ф. Морозов, В. М. Соловьев, Н. И. Кленин, М. В. Сабликов, Г. А. Хайлис, В. А. Никитин, А. Ф. Кондратов, В. М. Медведчиков, А. Ф. Рушевой, В. И. Воробьев, Б. А. Берг и др.

Из двух современных конструкций соломоотделителей – клавишного и роторного – наибольшее распространение получили клавишные

соломотрясы вследствие простоты конструкции, невысокой энергоемкости, надежности в эксплуатации. Однако они не обеспечивают требуемого качества сепарации зерна при перегрузке, чувствительны к изменениям как поперечного, так и продольного углов наклона, склонны к залипанию клавиш при повышенной влажности вороха, что затрудняет их использование при различных условиях работы [12, 19].

Для интенсификации процесса сепарации зерна сквозь пространственную решетку соломы применяются дополнительные устройства (активаторы), устанавливаемые на соломотрясе. Активаторы оказывают дополнительное воздействие на солоmistый ворох и способствуют более активному выделению из него зерна, что, в свою очередь, ведет к снижению потерь за соломотрясом [2, 11, 12, 13]. Таким образом, основное направление совершенствования процесса сепарации зерна из солоmistого вороха клавишным соломотрясом с пружинно-пальцевым активатором (ППА) состоит в теоретическом и экспериментальном исследовании влияния на процесс сепарации параметров и режимов работы ППА [10, 11, 12].

**Во второй главе** «Теоретические исследования рабочего процесса клавишного соломотряса с пружинно-пальцевыми активаторами» проведен теоретический анализ технологического процесса клавишного соломотряса, обоснована конструкция ППА. Клавишные соломотрясы – это оборудование, наиболее часто используемое для выделения остатков зерна из соломы. Оно не имеет технологических регулировок для повышения качества этого процесса, решение данного вопроса возможно за счет применения дополнительных устройств, активизирующих рассматриваемый процесс [12].

Основным принципом работы соломотряса является удар солоmistой массы о поверхность клавиш. За счет него происходит смещение вниз зерен по отношению к структурной решетке солоmistого вороха, выделение их из этого вороха с последующей сепарацией через перфорированную поверхность клавиш соломотряса. Сила такого удара зависит от массы материала, взаимодействующей с клавишей, и амплитуды ее полета. Скорость перемещения этой массы по соломотрясу зависит от траектории ее движения.

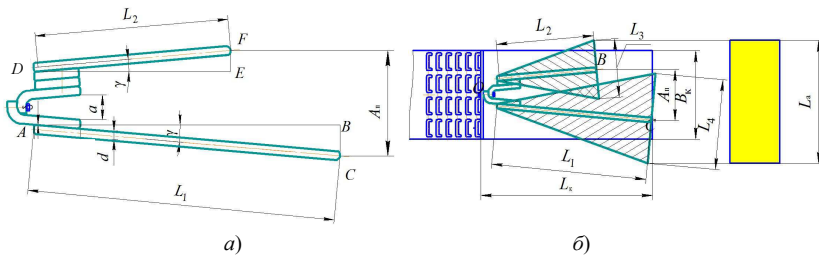
Учитывая, что точки рабочей поверхности соломотряса движутся по окружностям с постоянной угловой скоростью  $\omega$  (рад/с), изменение силы удара солоmistой массы о поверхность клавиши можно считать незначительным. При движении солоmistой массы по соломотрясу сепарация семян через слой вороха должна быть практически одинаковой. Но этого не происходит из-за того, что циклические удары солоmistой массы о рабочую поверхность соломотряса влияют также и

на общую структуру этой массы, частично уплотняя ее и тем самым затрудняя свободное прохождение семян через ворох. Поэтому при перемещении солоистой массы по соломотрясу наблюдается некоторое замедление процесса сепарации. Чтобы дополнительно активизировать процесс, необходимо разрыхление этой массы начиная с некоторого момента ее движения.

Процесс выделения зерна из вороха характеризуется коэффициентом сепарации  $\mu$  (1/м), который зависит от толщины слоя солоистого вороха  $H$  (м), которая, в свою очередь, зависит от подачи массы  $q$  (кг/с), ширины соломотряса  $B_c$  (м) и средней скорости  $v_c$  (м/с) перемещения соломы по клавишам.

Определены пределы изменения толщины слоя солоистого вороха в зависимости от подачи: для подачи 10 кг/с – 0,37...0,70 м, 12 кг/с – 0,45...0,84 м, 14 кг/с – 0,52...0,98 м, 16 кг/с – 0,60...1,12 м, 18 кг/с – 0,67...1,26 м. Увеличение толщины слоя соломы на соломотрясе без снижения его объемной массы приведет к тому, что будет затруднено выделение зерна сквозь решетку соломы, а это, в свою очередь, приведет к повышению потерь зерна за соломотрясом.

Схема ППА с указанием основных конструктивных параметров представлена на рисунке 1.



**а** – схема с основными параметрами ППА; **б** – схема для определения зоны воздействия ППА.

**Рисунок 1. – Параметры пружинно-пальцевого активатора**

При работе соломотряса клавиши совершают плоскопараллельное движение. Установленный ППА совершает аналогичное движение, однако за счет упругости пальцев и действия на них солоистого вороха пальцы при колебаниях отклоняются от исходного положения на угол  $\pm\gamma$  (град).

Расстояние между концами пальцев  $A_n$  определено по зависимости



$$A_{\text{п}} = (n + n_1)d + n\delta + a + BC + EF, \quad (1)$$

где  $n$  – число полных витков пружины пальца активатора, шт.;  
 $n_1$  – число неполных витков пружины пальца активатора, шт.;  
 $d$  – диаметр пальца активатора, м;  
 $\delta$  – зазор между витками пружины, м;  
 $a$  – ширина узла крепления, м;  
 $BC, EF$  – отклонения конца пальца от продольного направления, м.

Длина пальца  $L_1$  (м) определена по зависимости [20]:

$$L_1 = BC / \sin(\gamma). \quad (2)$$

Длина пальца  $L_2$  (м) определена по зависимости

$$L_2 = EF / \sin(\gamma). \quad (3)$$

Каждый палец активатора при установившемся режиме работы отклоняется на угол  $\gamma$ , образуя при этом определенную зону воздействия. Так, палец длиной  $L_1$  с учетом его отклонения образует зону воздействия  $L_4$ , а палец длиной  $L_2$  образует зону воздействия  $L_3$  [8].

Зоны воздействия пальцев активатора  $L_3$  и  $L_4$  могут быть определены по зависимостям

$$L_3 = 2L_2 \sin(\gamma); \quad (4)$$

$$L_4 = 2L_1 \sin(\gamma). \quad (5)$$

В связи с тем что активатор оказывает воздействие на солоmistый ворох, вводим такое понятие, как зона воздействия активатора  $L_a$  (м) – это величина, позволяющая описать воздействие пальцев активатора на слой солоmистого вороха.

Зона воздействия активатора  $L_a$  определена по выражению

$$L_a = L_4 / 2 + A_{\text{п}} - EF - BC + L_3 / 2. \quad (6)$$

Количество ППА по ширине соломотряса

$$n_a = B_c / L_a, \quad (7)$$



где  $\overline{P}_c^{\text{н}}$ ,  $\overline{P}_c^{\text{в}}$  – сила инерции нижнего и верхнего слоев вороха, Н;

$\overline{P}_\text{п}$  – сила инерции пальца, Н;

$\omega$  – угловая скорость вращения вала соломотряса, рад/с;

$t_3$  – время встречи вороха с клавишей соломотряса, с;

$\beta$  – угол наклона активатора, рад;

$\overline{G}_c^{\text{н}}$ ,  $\overline{G}_c^{\text{в}}$  – сила тяжести нижнего и верхнего слоев вороха, Н;

$\overline{G}_\text{п}$  – сила тяжести пальца, Н;

$L$  – длина пальца активатора, м;

$D$  – средний диаметр пружины кручения пальца активатора, м;

$n$  – число витков пружины пальца активатора, шт.;

$E$  – модуль упругости материала, Па;

$J_b$  – осевой момент инерции сечения пальца, м<sup>4</sup>.

Отклонение пальца активатора можно определить по зависимости

$$Y_{\text{max}} = L \sin(\theta). \quad (9)$$

Толщина слоя соломистого вороха с учетом воздействия ППА

$$H_{\text{к}} = H + Y_{\text{max}}. \quad (10)$$

Коэффициент разрыхления вороха, определяющий эффективность воздействия пальцев активатора на соломистый ворох, определен по зависимости

$$\varepsilon = \frac{H_{\text{к}}}{H}. \quad (11)$$

В результате подстановки основных параметров получена зависимость

$$\varepsilon = \left[ \left( \frac{(1-\beta_c)q}{B_c \gamma_c v_c} \right) + L \sin(\theta) \right] \frac{B_c \gamma_c v_c}{(1-\beta_c)q}, \quad (12)$$

где  $\beta_c$  – коэффициент, характеризующий содержание зерна в соломистой массе;

$q$  – пропускная способность, кг/с;

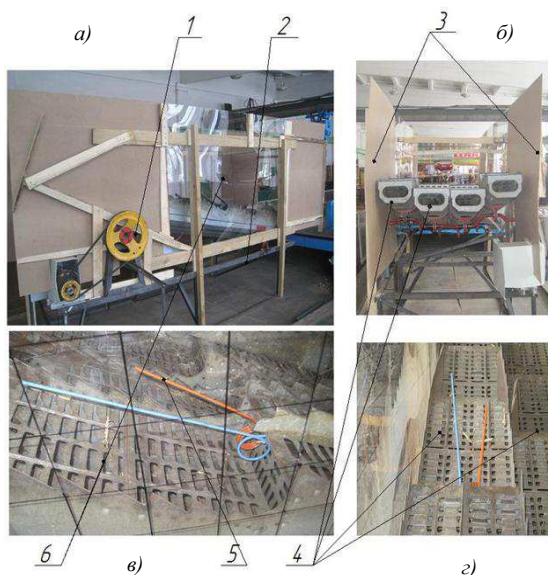
$\gamma_c$  – объемная масса соломы на соломотрясе, кг/м<sup>3</sup>;

$v_c$  – скорость продольного перемещения соломистого вороха по клавишам соломотряса, м/с.

Толщина соломистого вороха при воздействии активатора увеличивается, при этом объемная масса его пропорционально уменьшается. Для уточнения степени воздействия пальцев активатора на соломистый ворох необходимо экспериментально определить его характеристики.

**В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований»** описаны методики, которые разрабатывались и применялись для лабораторных и производственных исследований ППА

клавишного соломотряса. Для проведения комплекса лабораторных исследований была создана специальная установка (рисунок 3). Она представляет собой клавишный соломотряс с механизмом привода, у которого клавиши 4 установлены на раме 2. Привод соломотряса осуществляется от механизма привода с электродвигателем 1, на клавишах соло-



*а* – вид сбоку; *б* – вид сзади; *в, г* – установленный ППА на соломотрясе;

*1* – механизм привода; *2* – рама; *3* – боковина;

*4* – клавиша; *5* – активатор; *6* – экран.

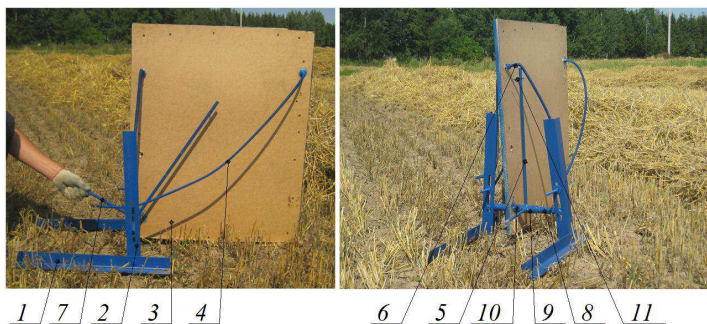
**Рисунок 3.** – Лабораторная установка клавишного соломотряса с ППА

тряса 4 установлены активаторы 5. Для фиксации основных процессов, которые происходят во время движения соломистого вороха по клавишам соломотряса и его взаимодействия с активатором 5, имеется

прозрачный экран 3 с нанесенной разметкой. Боквины 3 имитируют корпус зерноуборочного комбайна [15].

На данной лабораторной установке проведены следующие исследования: определены закономерности степени выделения зерна из соломистого вороха различной объемной массы при различных кинематических режимах [15]; установлена скорость движения соломистого вороха вдоль клавиш соломотряса [16]; выявлены отклонения конца пальца активатора при различных нагрузках и режимах работы соломотряса [17].

Для определения усилия, действующего на пруток ППА различной длины, была сконструирована и разработана полевая установка (рисунок 4).



1 – основание; 2 – стойка; 3 – экран; 4 – стяжка; 5 – рычаг; 6 – распорка;  
7 – пруток; 8 – труба; 9 – втулка; 10 – упор; 11 – фиксатор.

Рисунок 4. – Лабораторная установка для определения усилий, действующих на пруток активатора при взаимодействии с соломистым ворохом

Проведенные эксперименты показали, что на пруток действуют усилия, которые зависят от убираемой культуры и длины пальца активатора [4].

Методика, описывающая процесс сепарации зерна из слоя соломистого вороха в зависимости от объемной массы, позволила установить степень выделения зерна при различных режимах работы. С использованием видеосъемки была уточнена толщина и скорость соломистого вороха, как в лабораторных, так и в полевых опытах [16].

Проведено моделирование рабочего процесса ППА, позволившее посредством лазерного луча указки зафиксировать отклонения, которые возникают в процессе колебаний пальцев ППА.

**В четвертой главе** «Результаты экспериментальных исследова-

ний» приведена методика и результаты полнофакторного эксперимента, позволившие установить закономерности комплексного воздействия предлагаемой конструкции соломотряса с ППА на выделение зерна из соломистого вороха.

Процесс прохождения зерен через слой соломистого вороха обусловлен объемной массой и в меньшей степени зависит от интенсивности протряхивания клавишами соломотряса. Основное время выделения зерна из слоя соломистого вороха находится в пределах 10...50 с, а полное выделение происходит за 100...150 с.

При увеличении объемной массы соломистого вороха наблюдается снижение полноты выделения зерна. Так, для объемной массы  $15 \text{ кг/м}^3$  полнота выделения зерна составляет 97,50 %,  $20 \text{ кг/м}^3$  – 57,55 %,  $25 \text{ кг/м}^3$  – 43,29 %. При этом частота вращения вала соломотряса составила  $200 \text{ мин}^{-1}$ . Для объемной массы  $15 \text{ кг/м}^3$  время, за которое происходит полное выделение зерна, составляет 90 с, для объемной массы  $20...25 \text{ кг/м}^3$  время полного выделения зерна достигает 160...190 с [15].

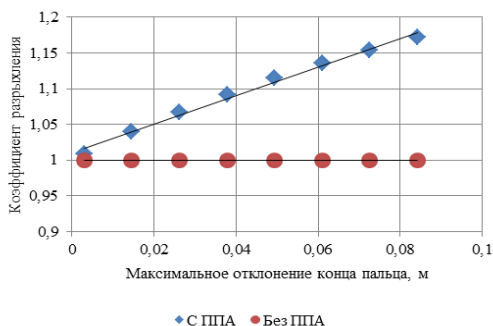
Вертикальная скорость перемещения зерна через слой соломистого вороха для объемной массы  $15 \text{ кг/м}^3$  составляла  $0,0030 \text{ м/с}$ ,  $20...25 \text{ кг/м}^3$  –  $0,0014...0,0015 \text{ м/с}$ . Применение активаторов будет уменьшать объемную массу вороха на соломотрясе, что будет способствовать его разуплотнению и выделению зерна за меньший промежуток времени и приведет к сокращению потерь зерна за соломотрясом. Время нахождения соломистой массы на клавишном соломотрясе составляет 8,13...13,3 с. Скорость движения соломистой массы по клавишам соломотряса находится в пределах  $0,23...0,37 \text{ м/с}$  [15].

Исследованиями по определению усилий, действующих на прутки при деформации соломистого вороха, установлено, что на возникающее усилие влияют как убираемая культура, так и длина прутка. Так, для прутка длиной 0,2 м усилие находится в пределах 0,49...16,19 Н, для прутка длиной 0,3 м – 0,49...24,53 Н, для прутка длиной 0,5 м – 0,78...23,25 Н [4].

В результате проведения опытов по определению толщины слоя установлено, что толщина слоя соломистого вороха на клавишах соломотряса изменяется в пределах 0,35...0,49 м, скорость движения соломистого вороха на соломотрясе при уборке находится в пределах  $0,33...0,41 \text{ м/с}$  [4].

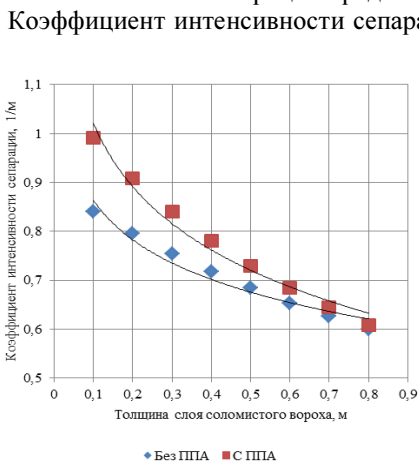
Проведенное детальное исследование колебаний различных пальцев активатора позволяет оптимизировать его конструкцию. Максимальное значение отклонений находится в пределах  $0,003...0,0842 \text{ м}$  [16].

При этом определены максимальные отклонения для пальцев длиной 0,3 и 0,5 м, что позволило принять их для дальнейших исследований.



**Рисунок 5. – Зависимость коэффициента разрыхления от максимального отклонения конца пальца**

Зависимость коэффициента интенсивности сепарации представлена на рисунке 6.



**Рисунок 6. – Зависимость толщины слоя соломистого вороха от коэффициента интенсивности сепарации**

ППА – 0,039...0,28 кг/с. Применение ППА позволяет уменьшить потери зерна за клавишным соломотрясом.

По результатам данного комплекса исследований построены математические модели влияния на параметр оптимизации (отклонение

Определена взаимосвязь между максимальным отклонением конца пальца и коэффициентом разрыхления вороха (рисунок 5).

При этом коэффициент разрыхления находится в пределах 1,0...1,17.

Графическая зависимость толщины слоя соломистого вороха от коэффициента

интенсивности сепарации уменьшается при увеличении толщины слоя вороха и находится в пределах 0,6...0,99 1/м. Однако при этом установка ППА способствует увеличению данного коэффициента за счет того, что от его воздействия на ворох происходит уменьшение объемной массы, что приведет к большему выделению зерна из слоя вороха и тем самым снизит потери зерна за соломотрясом.

Коэффициент схода зерна без ППА находится в пределе 0,041...0,31 кг/с, а при использовании

конца пальца активатора) таких факторов, как число витков пружины активатора  $n$  (шт.), угловая скорость вращения вала соломотряса  $\omega$  (рад/с), усилие действия соломистого вороха  $F$  (Н). Представлены основные зависимости влияния данных факторов и установлены оптимальные значения по влиянию на результирующий фактор [6].

В результате исследований установлено, что математическое описание задач оптимизации для пальцев ППА длиной 0,3 и 0,5 м имеет следующий вид:

– для пальца длиной 0,3 м исходная целевая функция

$$Y = -1,471 + 0,142\omega - 0,0047\omega F - 0,0032\omega^2 + 0,024F^2 \rightarrow \max, \quad (13)$$

с системой ограничений

$$\begin{cases} 19,1 \leq \omega \leq 22,5; \\ 1,91 \leq F \leq 2,16; \\ \omega, F > 0; \end{cases} \quad (14)$$

– для пальца длиной 0,5 м исходная целевая функция

$$Y = 0,5360 - 0,047\omega - 0,0098F + 0,0008\omega F + 0,001\omega^2 - 0,0009F^3 \rightarrow \max, \quad (15)$$

с системой ограничений

$$\begin{cases} 19,1 \leq \omega \leq 22,5; \\ 2,55 \leq F \leq 5,05; \\ \omega, F > 0. \end{cases} \quad (16)$$

В процессе работы клавишного соломотряса наблюдается изменение угловой скорости, это объясняется загрузкой двигателя комбайна, а также буксованием ремня привода соломотряса. Обоснованные параметры ППА, в частности количество витков,  $n = 3$  шт. для пальца длиной 0,3 м,  $n = 1$  шт. для пальца длиной 0,5 м [6]. Для пальца длиной 0,3 м оптимальные параметры следующие:  $\omega = 21,04$  рад/с,  $F = 1,915$  Н и максимальное суммарное смещение при заданных параметрах  $Y = 0,0172$  м. Для пальца длиной 0,5 м установлены следующие оптимальные значения работы:  $\omega = 19,1$  рад/с и  $F = 2,936$  Н, при этом максимальное суммарное смещение  $Y = 0,022$  м. Результаты проведенных



исследований позволили обосновать конструкцию пружинно-пальцевого активатора и продолжить его исследования по воздействию на солоmistый ворох в полевых условиях [6].

В пятой главе «Реализация результатов исследований и расчет экономической эффективности внедрения» была поставлена задача определить количество ППА на клавишах соломотряса применительно к наиболее распространенной модели зерноуборочного комбайна и выбрать схему их расстановки. При этом предусматривалась уборка различных культур в реальном диапазоне рабочих скоростей движения комбайна. Оценка проводилась по итоговому показателю потерь зерна за соломотрясом при различных вариантах работы [7].

Производственные испытания комбайнов КЗС-1218 «ПАЛЕССЕ GS 12» с установленными ППА были проведены в сезон уборки 2016 г. Применение ППА позволило уменьшить потери зерна в солоmistой массе при работе клавишного соломотряса в среднем на 39,8...64,5 % [18].

Экспериментально установили взаимосвязь между отклонением конца пальца активатора, коэффициентами разрыхления и интенсивности сепарации. Графическая зависимость полученных результатов представлена на рисунке 7.

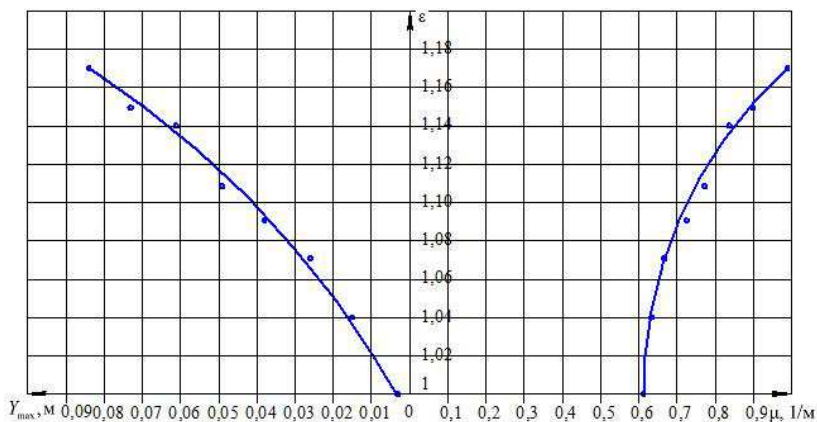


Рисунок 7. – Зависимость между отклонением конца пальца активатора, коэффициентами разрыхления и интенсивности сепарации

Согласно рисунку 7 при увеличении отклонения конца пальца активатора наблюдается увеличение коэффициента разрыхления, что приводит к уменьшению объемной массы и увеличению сепарации

зерна на клавишном соломотрясе, что обеспечит снижение потерь зерна при работе зерноуборочного комбайна.

Применение ППА, установленных на клавишном соломотрясе в различных количествах, позволяло увеличить скорость движения комбайна при уборке и работать с потерями зерна за соломотрясом в диапазоне 0,043...0,061 % [9]. При установке трех активаторов наблюдаются потери зерна в пределах 0,027...0,058 %. Работа с пятью ППА незначительно отличается от использования трех ППА, при этом диапазон потерь зерна составляет 0,027...0,038 %. При работе с тремя ППА при уборке яровой пшеницы скорость не влияет на величину потерь зерна (0,032 %). При работе трех и пяти ППА, установленных на соломотрясе, нижний предел потерь зерна составляет 0,027 %.

При изготовлении трех ППА необходимо затратить 21,9 руб., а пяти ППА – 36,5 руб. Преимуществом работы с тремя ППА является постоянство сепарации зерна из слоя соломистого вороха при различных скоростях движения зерноуборочного комбайна. Исходя из этого рекомендуется использование на соломотрясе зерноуборочного комбайна на трех ППА [7, 9].

Экономический эффект установки ППА на соломотрясе комбайна КЗС-1218 «ПАЛЕССЕ GS 12» составляет 546,4 руб. (в ценах 2016 г.). Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений составит 0,047 года. С учетом норматива годовой загрузки зерноуборочных комбайнов, равного 130 ч, установка пружинно-пальцевых активаторов на клавишный соломотряс комбайна КЗС-1218 «ПАЛЕССЕ GS 12» окупится за одну смену его работы [9].

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **Основные научные результаты диссертации**

1. Обоснована конструкция пружинно-пальцевого активатора клавишного соломотряса зерноуборочного комбайна, который оказывает разрыхляющее и протряхивающее воздействие на солоmistый ворох, способствует сепарации зерна и позволяет снизить его потери при уборке [12, 25]. Получены аналитические зависимости, описывающие процесс движения соломистого вороха с учетом воздействия на него пружинно-пальцевого активатора. Основное влияние на работу пружинно-пальцевого активатора оказывают угловая скорость вращения клавиш соломотряса (15,7...22,5 рад/с), усилие действия соломистого вороха (1,67...2,16 Н), толщина слоя вороха (0,37...0,84 м), скорость движения вороха вдоль клавиш соломотряса (0,32...0,40 м/с), число

витков пружин активатора (1...3 шт.) и длина пальцев (0,2...0,5 м). Получены зависимости для определения отклонения пальца активатора (0,003...0,0842 м), амплитуды колебаний пальца (0,006...0,1684 м), коэффициента разрыхления (1,0...1,17), позволяющие оценить эффективность воздействия активатора на солоmistый ворох [6, 10, 12, 18].

2. Разработаны методики исследований по моделированию рабочего процесса пружинно-пальцевого активатора соломотряса и определению действующих усилий на пруток при деформации слоя солоmistого вороха, закономерностей сепарации зерна из слоя вороха при различной объемной массе и разных режимах работы, характеристик движения вороха в зоне взаимодействия с активатором [4, 15, 17].

3. В результате реализации многофакторного эксперимента получены уравнения регрессии, позволяющие обосновать оптимальные значения основных факторов, при которых достигается максимальное отклонение концов пальцев активатора: число витков пружины пальца активатора длиной 0,3 м составляет 3 шт., пальца длиной 0,5 м – 1 шт.; угловая скорость вращения вала соломотряса – 21,04 рад/с и усилие действия солоmistого вороха – 1,915 Н для пальца длиной 0,3 м при максимальном отклонении конца пальца 0,0172 м и соответственно 19,1 рад/с и 2,936 Н для пальца длиной 0,5 м при максимальном отклонении 0,022 м [6].

4. Испытаниями зерноуборочных комбайнов КЗС-1218 «ПАЛЕССЕ GS 12» в производственных условиях подтверждена эффективность применения пружинно-пальцевых активаторов соломотряса. При использовании активаторов наблюдается снижение потерь зерна за соломотрясом на 39,8...64,5 % относительно базового соломотряса. Установка пружинно-пальцевых активаторов на клавишный соломотряс комбайна КЗС-1218 окупится за одну смену его работы. Экономический эффект от использования пружинно-пальцевых активаторов на соломотрясе комбайна КЗС-1218 «ПАЛЕССЕ GS 12» составит 546,4 руб. (в ценах 2016 г.) [7, 8, 9, 18, 20].

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

Зерноуборочные комбайны КЗС-1218 «ПАЛЕССЕ GS 12» с установленными пружинно-пальцевыми активаторами работали в период уборочной кампании 2016 г. в хозяйствах Речицкого района Гомельской области: КСУП «Агрокомбинат «Холмеч» и филиале «Советская Белоруссия» ОАО «Речицкий комбинат хлебопродуктов», а также в ОАО «Мазоловское» Мстиславского района Могилевской области. Использование пружинно-пальцевых активаторов в филиале «Совет-

ская Белоруссия» ОАО «Речицкий комбинат хлебопродуктов» позволило уменьшить потери зерна в солоистой массе при работе клавишного соломотряса в среднем на 43,5...64,5 %, а в условиях КСУП «Агрокомбинат «Холмеч» – в среднем на 39,8...61,7 %, в ОАО «Мазоловское» – на 50...55 %.

Материалы диссертации признаны ОАО «Гомсельмаш» оригинальной разработкой, прошедшей производственную проверку и представляющей практический интерес с перспективами использования в конструкциях соломотрясов зерноуборочных комбайнов серии «ПАЛЕССЕ GS».

Практические рекомендации и технические данные по изготовлению и использованию пружинно-пальцевых активаторов разработанной конструкции опубликованы в печати [25] и доводятся до сведения слушателей Института повышения квалификации и переподготовки кадров УО БГСХА и Государственного учреждения дополнительного образования взрослых «Центр повышения квалификации руководящих работников и специалистов комитета по сельскому хозяйству и продовольствию Могилевского облисполкома».

## **СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ**

### **Статьи в научных журналах, входящих в перечень ВАК**

1. Клочков, А. В. Показатели использования зерноуборочных комбайнов «Палессе GS» в хозяйствах Беларуси / А. В. Клочков, О. В. Рыхлицкий, В. В. Гусаров, В. Ф. Ковалевский // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2013. – № 1. – С. 105–110.
2. Клочков, А. В. Оценка использования зерноуборочных комбайнов в Гродненском районе / А. В. Клочков, Б. М. Шундалов, В. Ф. Ковалевский, А. Н. Рыхлицкий // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2015. – № 2. – С. 5–11.
3. Клочков, А. В. Тенденции в использовании зерноуборочных комбайнов в сезон уборки 2015 года / А. В. Клочков, Б. М. Шундалов, В. Ф. Ковалевский // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2015. – № 4. – С. 123–128.
4. Ковалевский, В. Ф. Определение усилий на деформацию соломы прутковыми элементами / В. Ф. Ковалевский, А. В. Клочков // Агрорама. – 2016. – № 1. – С. 9–13.
5. Шундалов, Б. М. Факторный анализ использования зерноуборочных комбайнов / Б. М. Шундалов, А. В. Клочков, А. Н. Рыхлицкий,

В. Ф. Ковалевский // Экономический бюллетень. – 2016. – № 2. – С. 53–61.

6. Ковалевский, В. Ф. Оптимизация конструкции и выбор параметров пружинно-пальцевого активатора соломотряса зерноуборочного комбайна / В. Ф. Ковалевский, С. В. Курзенков, А. В. Клочков // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2017. – № 1. – С. 109–113.

7. Клочков, А. В. Результаты испытаний пружинно-пальцевых активаторов клавишного соломотряса зерноуборочного комбайна / А. В. Клочков, В. Ф. Ковалевский // Вестн. БарГУ. – 2017. – № 5. – С. 93–99.

8. Клочков, А. В. Обоснование конструкции и параметров пружинно-пальцевого активатора соломотряса зерноуборочного комбайна / А. В. Клочков, В. Ф. Ковалевский // Агропанорама. – 2017. – № 6. – С. 5–9.

9. Липская, В. К. Экономическая эффективность применения зерноуборочных комбайнов с активаторами соломотряса / В. К. Липская, А. В. Клочков, В. Ф. Ковалевский // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2017. – № 2. – С. 123–126.

10. Ковалевский, В. Ф. Разрыхление соломистого вороха пальцами активатора клавишного соломотряса зерноуборочного комбайна / В. Ф. Ковалевский, А. В. Клочков, М. Л. Пархоменко // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2018. – № 2. – С. 175–180.

### **Статьи в сборниках материалов конференций и журналах**

11. Клочков, А. В. Подготовка зерноуборочного комбайна к работе / А. В. Клочков, В. В. Гусаров, В. Ф. Ковалевский // Наше сельское хозяйство. – 2014. – № 11. – С. 28–34.

12. Ковалевский, В. Ф. Применение соломоотделителей на современных зерноуборочных комбайнах / В. Ф. Ковалевский // Специалист XXI века : материалы III Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 10-летию со дня образования ун-та, Барановичи, 4–5 июня 2014 г. / редкол.: А. В. Никишова (гл. ред.) [и др.]. – Барановичи : РИО БарГУ, 2014. – С. 177–178.

13. Клочков, А. В. Как повысить производительность и качество работы зерноуборочных комбайнов / А. В. Клочков, В. В. Гусаров, В. Ф. Ковалевский // Наше сельское хозяйство. – 2015. – № 9. – С. 22–30.

14. Клочков, А. В. Тенденции формирования и использования парка зерноуборочных комбайнов в АПК Беларуси / А. В. Клочков,

Б. М. Шундалов, В. Ф. Ковалевский // Белорусское сельское хозяйство. – 2015. – № 6 (158). – С. 104–107.

15. Клочков, А. В. Закономерности выделения зерна из слоя соломы различного объемного веса при изменении режимов встряхивания / А. В. Клочков, В. Ф. Ковалевский // Инновационные технологии в производстве сельскохозяйственной продукции : сб. науч. ст. Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 2–3 июня 2015 г. / под ред. В. Б. Ловкиса. – Минск : БГАТУ, 2015. – С. 188–193.

16. Ковалевский, В. Ф. Обоснование активатора соломотряса зерноуборочного комбайна с учетом параметров соломистого вороха / В. Ф. Ковалевский // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XVI Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 28–29 апр. 2016 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016. – С. 45–48.

17. Клочков, А. В. Характеристика технологического процесса пружинно-пальцевого активатора соломотряса / А. В. Клочков, В. Ф. Ковалевский // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса АПК : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 9 июня 2016 г. / М-во сел. хоз-ва и прод. Респ. Беларусь, РО «Белагросервис», УО «Белорус. гос. аграр. техн. ун-т» ; редкол.: Н. К. Лисай [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2016. – С. 210–216.

18. Клочков, А. В. Новый активатор соломотряса зерноуборочного комбайна / А. В. Клочков, В. Ф. Ковалевский // Наше сельское хозяйство. – 2016. – № 13. – С. 14–17.

19. Клочков, А. В. Особенности уборки в сложных условиях / А. В. Клочков, В. В. Гусаров, В. Ф. Ковалевский // Земля и люди. – 2016. – № 31. – С. 6–7.

20. Ковалевский, В. Ф. Производственная проверка эффективности пружинно-пальцевых активаторов соломотряса зерноуборочного комбайна / В. Ф. Ковалевский // Новые горизонты – 2016 : сб. материалов III Белорусско-Китайского молодежного инновационного форума, Минск, 29–30 нояб. 2016 г. – Минск : БГАТУ, 2016. – С. 107–108.

21. Клочков, А. В. Возможности предотвращения потерь зерна при комбайновой уборке / А. В. Клочков, В. В. Гусаров, В. Ф. Ковалевский // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра : сб. тез. докл. междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : Науч.-техн. центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», 2017. – С. 32–33.

22. Ковалевский, В. Ф. Взаимосвязь пропускной способности с усилием воздействия соломистого вороха на палец пружинно-пальцевого активатора клавишного соломотряса / В. Ф. Ковалевский, А. В. Клочков // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения : сб. науч. работ. – Брянск : Изд-во Брянского ГАУ, 2018. – С. 121–127.

### **Патенты**

23. Соломосепаратор зерноуборочного комбайна : пат. 10288 Респ. Беларусь, МПК А 01F 12/30 / А. В. Клочков, В. Ф. Ковалевский; заявители А. В. Клочков, В. Ф. Ковалевский. – № u 20131096; заявл. 20.12.2013; опубл. 02.06.2014 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. – № 10288. – С. 2.

24. Соломотряс зерноуборочного комбайна : пат. 11506 Респ. Беларусь, МПК А 01F 12/30 / А. В. Клочков, В. Ф. Ковалевский; заявители А. В. Клочков, В. Ф. Ковалевский. – № u 20170019; заявл. 30.01.2017; опубл. 17.07.2017 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2017. – № 11506. – С. 2.

### **Рекомендации**

25. Клочков, А. В. Предотвращение потерь зерна при уборке : рекомендации / А. В. Клочков, В. В. Гусаров, В. Ф. Ковалевский ; под ред. А. В. Клочкова. – Горки, 2015. – 106 с.

## РЭЗЬЮМЭ

Кавалеўскі Уладзімір Фёдаравіч

### Інтэнсіфікацыя сепарацыі збожжа з кучы клавійнымі саломатрасамі камбайнаў прымяненнем спружынна-пальцавых актыватараў

**Ключавыя словы:** збожжаўборачны камбайн, спружынна-пальцавы актыватар (СПА), клавійны саломатрас, сепарацыя.

**Мэта даследаванняў:** інтэнсіфікацыя сепарацыі збожжа з кучы на клавійным саломатрасе збожжаўборачнага камбайна за кошт сепаравальнага ўздзеяння на пласт саломістай кучы прымяненнем у яго канструкцыі спружынна-пальцавых актыватараў.

**Метады даследавання і апаратура.** Тэарэтычныя даследаванні праводзіліся на аснове законаў механікі, эксперыментальныя – па метадах, распрацаваных на падставе агульнапрынятых і спецыяльных метадаў. Эксперыментальныя даследаванні праводзіліся на спецыяльна вырабленых лабараторных і палявых устаноўках.

**Атрыманыя вынікі і іх навізна.** Выкананая праца дазволіла:

– даследаваць і абгрунтаваць асноўныя параметры спружынна-пальцавага актыватара, эксперыментальна ўдакладніць і пацвердзіць дакладнасць тэарэтычных даследаванняў працоўнага працэсу СПА на саломатрасе збожжаўборачнага камбайна;

– вызначыць параметр аптымізацыі працы СПА, выявіць фактары, якія дзейнічаюць пры гэтым, і па выніках даследаванняў пабудаваць матэматычную мадэль працэсу;

– рэалізаваць атрыманыя вынікі тэарэтычных і эксперыментальных даследаванняў клавійнага саломатраса з усталяванымі СПА на збожжаўборачным камбайне і вызначыць эканамічную эфектыўнасць яго выкарыстання пры ўборцы.

Навізна распрацаванага тэхнічнага рашэння пацверджана даведкамі ТАА «Гомсельмаш», актамі, пратаколам параўнальных вытворчых выпрабаванняў.

**Рэкамендацыі па выкарыстанні.** Вынікі тэарэтычных і эксперыментальных даследаванняў перададзены ТАА «Гомсельмаш» для практычнага выкарыстання ў новых мадэлях збожжаўборачных камбайнаў і выкарыстоўваюцца ў вучэбным працэсе.

**Вобласць прымянення:** прадпрыемствы сельскагаспадарчага машынабудавання і Мінсельгасхарча Рэспублікі Беларусь.



## РЕЗЮМЕ

Ковалевский Владимир Федорович

### **Интенсификация сепарации зерна из вороха клавишными соломотрясами комбайнов применением пружинно-пальцевых активаторов**

**Ключевые слова:** зерноуборочный комбайн, пружинно-пальцевый активатор (ППА), клавишный соломотряс, сепарация.

**Цель исследований:** интенсификация сепарации зерна из вороха на клавишном соломотрясе зерноуборочного комбайна за счет сепарирующего воздействия на слой соломистого вороха применением в его конструкции пружинно-пальцевых активаторов.

**Методы исследования и аппаратура.** Теоретические исследования проводились на основе законов механики, экспериментальные – по методикам, разработанным на основании общепринятых и специальных методов. Экспериментальные исследования проводились на специально изготовленных лабораторных и полевых установках.

**Полученные результаты и их новизна.** Выполненная работа позволила:

– исследовать и обосновать основные параметры пружинно-пальцевого активатора, экспериментально уточнить и подтвердить достоверность теоретических исследований рабочего процесса ППА на соломотрясе зерноуборочного комбайна;

– определить параметр оптимизации работы пружинно-пальцевого активатора, выявить действующие факторы и по результатам исследований построить математическую модель процесса;

– реализовать полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований клавишного соломотряса с установленными ППА на зерноуборочном комбайне и определить экономическую эффективность его использования при уборке.

Новизна разработанного технического решения подтверждена справками ОАО «Гомсельмаш», актами, протоколом сравнительных производственных испытаний.

**Рекомендации по использованию.** Результаты теоретических и экспериментальных исследований переданы ОАО «Гомсельмаш» для практического использования в новых моделях зерноуборочных комбайнов и используются в учебном процессе.

**Область применения:** предприятия сельскохозяйственного машиностроения и Минсельхозпрода Республики Беларусь.

## SUMMARY

Kovalevsky Vladimir Fedorovich

### **Intensification of the separation of grain from the heap by the keyboard straw walkers of combines using spring-finger activators**

**Key words:** combine harvester, the spring-finger activator (SFA), keyboard straw walkers, separation.

**The purpose of the research:** intensification of the separation of grain from the heap on the keyboard straw walker of the combine harvester due to the separating effect on the layer of the straw heap by the use of spring-finger activators in their design.

**Research methods and apparatus.** Theoretical studies were carried out on the basis of laws of mechanics and experimental, of the techniques developed on the basis of conventional and special techniques. Experimental studies were carried out on a specially constructed laboratory and field settings.

**Obtained results and their novelty.** The studies allowed:

- to investigate and substantiate the main parameters of the spring-finger activator, to experimentally clarify and confirm the accuracy of theoretical researches of working process of the SFA on the straw walkers combine harvesters;
- to determine the parameter optimization of a spring-finger activator, to identify existing factors and the results to build a mathematical model of the process;
- implement the obtained results of theoretical and experimental studies of the keyboard straw walkers installed the SFA on a combine harvester and to determine the economic efficiency of its use when cleaning.

The novelty of the developed technical solution is confirmed by certificates of JSC «Gomselmash», acts, report of comparative production tests.

**Recommendations for the use.** The results of theoretical and experimental studies will be transferred to the production Association «Gomselmash» for practical use in the new models of combine harvesters and used in learning.

**Application field:** agricultural machinery and Ministry of agriculture of the Republic of Belarus.

Научное издание

**Ковалевский Владимир Федорович**

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ СЕПАРАЦИИ ЗЕРНА ИЗ ВОРОХА  
КЛАВИШНЫМИ СОЛОМОТРЕСАМИ КОМБАЙНОВ  
ПРИМЕНЕНИЕМ ПРУЖИННО-ПАЛЬЦЕВЫХ АКТИВАТОРОВ**

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.20.01 – технологии и средства механизации  
сельского хозяйства (технические науки)

Подписано в печать 02.11.2021.  
Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага для множительных аппаратов.  
Печать цифровая. Гарнитура «Таймс».  
Усл. печ. л. 1,4. Тираж 60 экз.  
Заказ № 552.

---

Отпечатано на участке копировально-множительной техники  
Полиграфического центра «Печатник» ИП Лобанов С. В.  
213407, Могилевская обл., г. Горки, пр-т Димитрова, 4/16.  
Св. № 790325245 от 31 мая 2006 года, выдано Горецким РИК