

*На правах рукописи*



**КОРНЕВ Андрей Сергеевич**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕПАРАЦИИ ЗЕРНА НА  
ПЛОСКИХ РЕШЕТАХ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНЫХ МАШИН**

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства

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

**Воронеж – 2015**

Работа выполнена на кафедре сельскохозяйственных машин федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» (Воронежский ГАУ)

Научный руководитель доктор сельскохозяйственных наук, доцент  
**Оробинский Владимир Иванович**

Официальные оппоненты: **Галкин Василий Дмитриевич**,  
доктор технических наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Пермская государственная  
сельскохозяйственная академия имени  
академика Д.Н. Прянишникова», профессор  
кафедры сельскохозяйственных машин,  
декан инженерного факультета

**Свиридов Леонид Тимофеевич**,  
Заслуженный деятель науки РФ,  
доктор технических наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный  
лесотехнический университет  
имени Г.Ф. Морозова», профессор кафедры  
производства, ремонта и эксплуатации  
машин

Ведущая организация: **ООО «Воронежсельмаш»**

Защита состоится 10 декабря 2015 г. в 14 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 220.010.04, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» (Воронежский ГАУ) по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 13, учебный корпус агроинженерного факультета (корпус № 3), аудитория 319.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Воронежского ГАУ и на сайте [www.vsau.ru](http://www.vsau.ru) («Информация о деятельности диссертационных советов» – «Защиты» – «Д 220.010.04»), а также по ссылке: <http://ds.vsau.ru/?p=2254>.

Автореферат разослан 09 октября 2015 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 220.010.04  **Афоничев Дмитрий Николаевич**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Национальная безопасность государства напрямую зависит от его продовольственной независимости. В обеспечении суверенитета в этой области особую роль играет сельское хозяйство, основой которого безусловно является зерновое производство. Главной задачей агропромышленного комплекса в связи с этим является увеличение объемов производства продовольственного и семенного зерна. Широкое использование прогрессивных технологий и технических средств, учитывающих почвенно-климатические особенности различных регионов, являются приоритетным направлением развития агропромышленного комплекса.

В нашей стране и за рубежом доминирующим средством очистки семенного и продовольственного зерна остаются зерноочистительные машины, в конструкциях которых в качестве рабочих органов используются плоские решета, установленные в решетных станах. Такие рабочие органы являются в настоящее время наиболее универсальными и получили широкое применение. Поэтому повышение эффективности процесса сепарирования зерна на плоских решетках за счет совершенствования конструкций и обоснования параметров зерноочистительных машин представляет собой важную задачу.

Повышение эффективности процесса сепарирования зерна на плоских решетках невозможно без знаний закономерностей работы очистителей плоских решет и систем привода решетного стана, а поэтому тема диссертации актуальна.

Настоящая работа посвящена повышению эффективности сепарации зернового вороха на плоских решетках зерноочистительных машин за счет совершенствования конструкции решетного стана, его параметров и режимов работы. Диссертация выполнена в рамках научно-исследовательской работы агроинженерного факультета Воронежского ГАУ «Инновационные направления совершенствования процессов и технических средств механизации и электрификации сельскохозяйственного производства», утвержденной ученым советом Воронежского ГАУ (номер государственной регистрации 01.200.1-003986).

**Степень разработанности темы.** Вопросами повышения эффективности сепарации зерна на плоских решетках, совершенствования решетных станом зерноочистительных машин занимались и занимаются в настоящее время множество ученых. Процессы разделения зерновой смеси рассматривались в трудах Тарасенко А.П., Оробинского В.И., Свиридова Л.Т., Галкина В.Д., Сундеева А.А., Быкова В.С., Завгороднего А.И., Заики П.М., Зюлина А.Н., Ридного В.Ф., Кожуховского И.Е., Лопана А.А., Файбушевича Г.З., Чумакова В.Г., Вахниной Г.Н., Борискина М.А., Шакина Н.И. и др. Представленные авторы достаточно полно в своих трудах осветили процесс сепарации зернового материала на плоских решетках, однако остаются нерешенными отдельные вопросы.

Изучение и анализ литературных и патентных источников показали следующее: используемые в настоящее время шариковые и щеточные очистители решет имеют ряд существенных недостатков и требуется дальнейшее совершенствование рабочих органов механизма очистки; отсутствуют данные по

использованию разнонаправленных подвесок решетного стана; нет технических решений по снижению инерционных нагрузок в приводе решетного стана; в существующих решетных зерноочистительных машинах процесс сепарации зерна на плоских решетках малоэффективен и нуждается в дальнейшем изучении с целью модернизации конструкции и оптимизации режимов работы, необходимых для повышения качества продукции и снижения энергозатрат.

**Цель исследования** повысить эффективность сепарации зернового вороха на плоских решетках зерноочистительных машин за счет изменения конструктивно-кинематических параметров решетного стана, и совершенствования элементов его конструкции.

**Задачи исследований:**

- предложить новые технические решения очистителя плоских решет, системы привода решетного стана и его элементов;
- разработать математическую модель рабочего процесса очистителя плоских решет в виде пружины;
- получить аналитические зависимости для определения рациональных параметров и режимов работы системы привода решетного стана с учетом особенностей предложенных технических решений элементов решетного стана;
- экспериментально обосновать рациональные параметры отражательной поверхности решетного стана зерноочистительной машины.

**Объектом исследования** является процесс сепарации зернового вороха на плоских решетках зерноочистительных машин и конструктивные элементы решетного стана.

**Предметом исследований** являются закономерности сепарации зернового вороха на плоских решетках.

**Научная новизна:**

- математическая модель рабочего процесса очистителя плоских решет в виде пружины, отличающаяся учетом параметров дополнительных направляющих на отражательной поверхности;
- аналитические зависимости для определения рациональных параметров и режимов работы системы привода решетного стана, отличающиеся учетом особенностей предложенных технических решений элементов решетного стана;
- зависимости коэффициента сепарации от частоты и амплитуды колебаний решетного стана, отличающиеся тем, что получены экспериментально при разнонаправленном наклоне подвесок;
- рациональные параметры отражательной поверхности решетного стана зерноочистительной машины, отличающиеся тем, что определены для варианта конструкции с очистителем в виде пружины.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Математическая модель рабочего процесса очистителя плоских решет в виде пружины, аналитические зависимости для определения рациональных параметров и режимов работы системы привода решетного стана углубляют знания в области теории зерноочистительных машин.

Предложенные технические решения, защищенные патентами Российской Федерации, позволят повысить эффективность реализации фракционной технологии послеуборочной обработки зернового вороха, увеличить производительность и надежность работы зерноочистительной машины, обеспечить качество получаемой продукции в соответствии с действующим ГОСТ Р 52325-2005.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований могут быть использованы при проектировании и изготовлении наиболее перспективных моделей зерноочистительных машин, их настройке и эксплуатации, а также в учебном процессе при подготовке бакалавров по направлению 35.03.06 (110800.62) и магистров по направлению 35.04.06 (110800.68).

**Методология и методы исследования.** Теоретическое исследование произведено на основе методов математического моделирования, классической механики, физики. Лабораторный эксперимент поставлен на основе теории планирования эксперимента, для его проведения модернизирована лабораторная установка для исследования процесса сепарации зерна, имеющаяся на кафедре сельскохозяйственных машин Воронежского ГАУ. При проведении расчётов и обработке результатов эксперимента использовались современные ЭВМ, применялось программное обеспечение: Excel, MatLab, Maple 14, Statistica 7.

**Положения, выносимые на защиту:**

- новые технические решения очистителя плоских решет, решетного стана и его привода, позволяющие повысить эффективность сепарации зерна;
- математическая модель рабочего процесса очистителя плоских решет в виде пружины, позволяющая обосновать параметры направляющих на отражательной поверхности;
- аналитические зависимости для определения рациональных параметров и режимов работы системы привода решетного стана;
- зависимости коэффициента сепарации от частоты и амплитуды колебаний решетного стана, позволяющие установить рациональные режимы работы и оценить эффективность предложенных технических решений элементов решетного стана.

**Степень достоверности и апробации результатов.** Результаты получены применением современных апробированных теоретических подходов, методов математического анализа, теории дифференциальных уравнений, теории зерноочистительных машин, реализацией математической модели на ЭВМ, планированием и проведением эксперимента, сопоставлением результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Достоверность результатов работы подтверждается: методологической базой исследований, проведением системного анализа решаемых задач и применением методов математического моделирования, применением современных средств вычислительной техники, результатами внедрения в производство.

Основные положения диссертации докладывались и обсуждались:

- на научных конференциях профессорско-преподавательского состава агроинженерного факультета Воронежского ГАУ в 2013–2015 годах;

- на международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Инновационные технологии и технические средства для АПК» в Воронежском ГАУ в 2014 г.;

- на научно-производственной конференции Белгородского государственного аграрного университета имени В.Я. Горина в 2014 г.;

- на научной конференции «Научно-практические аспекты ресурсосберегающих технологий производства продукции и переработки отходов АПК» в Воронежском ГАУ в 2014 г.;

- на III международной научно-практической конференции «Производство и переработка сельскохозяйственной продукции: менеджмент качества и безопасности» в 2015 г. в Воронежском ГАУ;

- на стипендиальной программе «ЭкоНива-Студент 2013» в номинации «Механизация сельского хозяйства»;

- на конкурсе по программе «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» (У.М.Н.И.К.) в 2013, 2014 годах;

- на II этапе всероссийского конкурса на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений Минсельхоза России в номинации «Технические науки» в 2014 г. в Воронежском ГАУ (работа отмечена диплом III степени);

- на всероссийском конкурсе на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений Минсельхоза России в номинации «Технические науки» в Саратовском государственном аграрном университете имени Н.И. Вавилова в 2014 г.

Результаты диссертационной работы внедрены на предприятии по производству сельскохозяйственных машин и оборудования ЗАО «Техника-Сервис» (г. Воронеж).

Результаты диссертационной работы используются в учебном процессе Воронежского ГАУ при подготовке бакалавров по направлению 35.03.06 (110800.62) и магистров по направлению 35.04.06 (110800.68).

**Личный вклад соискателя.** Личный вклад соискателя заключается в постановке задач исследования, выборе методов, разработке методики исследований, выполнении математических преобразований и расчетов, разработке математической модели, реализации модели на ЭВМ, усовершенствовании конструкций элементов решетчатого стана, модернизации лабораторной установки, получении экспериментальных данных, формулировке выводов.

**Публикации.** Результаты диссертационной работы опубликованы в десяти научных статьях, из которых четыре – в изданиях, включённых в перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций. По результатам диссертационной работы получено: один патент на изобретение и пять патентов на полезные модели.

**Структура и объем диссертационной работы.** Диссертация состоит из введения, пяти разделов, включающих 50 рисунков и 17 таблиц, заключения, списка использованных источников, включающего 159 наименований, 12 приложений. Объем диссертации 156 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**В введении** согласно ГОСТ Р 7.01.11–2011 отражена: актуальность исследования, степень ее разработанности, цель и задачи исследований, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, методология и метод исследований, положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробацию результатов.

**В первой главе «Состояние вопроса и задачи исследования»** освещен анализ состояния и разработанности вопроса. Рассмотрены требования к качеству семян и проанализированы технические решения, применяемые для очистки плоских решет, а также конструктивные решения применяемых подвесок и системы привода решетных станов.

Изучением процесса очистки отверстий плоских решет от элементов зернового вороха занимались такие видные деятели науки как Заика П.М., Тарасенко А.П., Оробинский В.И., Завгородний А.И., Ридный В.Ф., Файбушевич Г.З., Карлов М.Е., Науменко А.М., Гиевский А.М. и другие. Конструктивные решения различных применяемых подвесок и систем приводов решетных станов рассматривались в научных трудах Быкова В.С., Галкина В.Д., Свиридова Л.Т., Вахниной Г.Н, Ткачева В.В., Оробинского В.И., Сундеева А.А, Чумакова В.Г. и др.

Изучение литературных источников показало следующее:

– в механизмах для очистки плоских решет в основном используются щеточные и шариковые очистители, фрикционного и ударного действия, которые имеют ряд недостатков, таких как дополнительный механизм привода и низкая надежность для первого варианта и низкая вероятность контакта очистителя с застрявшими частицами в отверстиях решет – для второго;

– недостаточно изучено воздействие подвесок решетного стана на характер движения зернового материала по поверхности решета и их влияние на процесс сепарации зерновой смеси рассматривалось, только с точки зрения изменения длинны;

– предлагаемые технические решения систем привода решенных станов не позволяют решить проблему значительных инерционных сил, возникающих в крайних точках перемещения решетного стана, что сказывается на надежности работы зерноочистительной машины.

С целью повышения эффективности сепарации зернового вороха на плоских решетках зерноочистительных машин необходим поиск и разработка новых технических решений для очистки решет, привода решетного стана и его подвесок. Также целесообразно определить влияние предложенных технических решений и режимных параметров работы решетного стана на качество очистки решет, эффективность их работы и фракционирование зернового вороха. Многочисленные исследования указывают на необходимость теоретических и экспериментальных исследований по обоснованию конструктивно-технологических и режимных параметров устройств для очистки плоских решет, систем привода решетного стана и его элементов.

**Во второй главе «Теоретические предпосылки совершенствования устройства для очистки плоских решет и привода решетного стана»** проведен анализ процесса движения решетного стана под действием эксцентрика и рас-

смотрены основные этапы перемещения очистителя в виде пружины находящегося в подрешетном пространстве.

Проведенный анализ процесса контактирования очистителя с решетом,

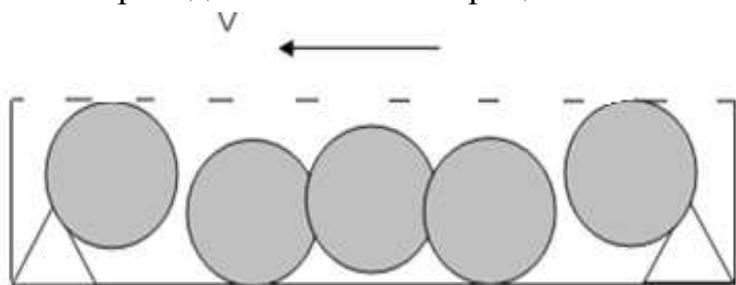


Рисунок 1 – Модель движения очистителя

показал, что при реальных частотах и амплитудах колебаний решетного стана очиститель в виде пружины недостаточно контактирует с сепарирующим решетом, что приводит к его малоэффективному очищению (рис. 1).

Для увеличения точек контакта

очистителя с решетом предлагается установить направляющие поверхности криволинейной формы. Движение очистителя в виде пружины условно можно разбить на четыре цикла: совместное движение очистителя и решетного стана; движение по наклонной плоскости рифа отражательной поверхности; по направляющей на отражательной поверхности; свободный полет.

На первом цикле при прохождении половины амплитуды движения  $r$  (радиус эксцентрика) решетный стан вместе с очистителем в виде пружины приобретают максимальную скорость  $V = \omega r$ .

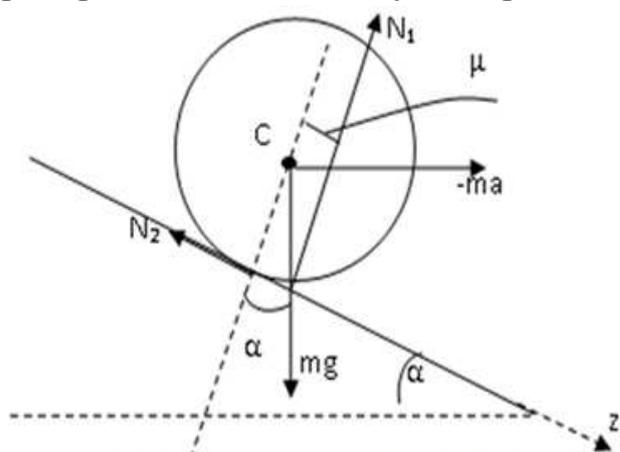


Рисунок 2 – К движению очистительного элемента по наклонной плоскости

Движение очистителя по наклонной поверхности, как показано на рисунке 2, представляет собой скольжение под действием силы тяжести, силы трения  $N_2$  и переносной силы инерции:

$$m\ddot{z} = mg \sin \alpha + m\omega^2 r \sin \omega t \cos \alpha - N_2,$$

где  $N_2 = kN_1 = k(mg \cos \alpha - m\omega^2 r \sin \omega t \sin \alpha)$ ,

В результате преобразований получаем математические выражения для определения скорости и пути перемещения очистителя по наклонной плоскости и времени:

$$\dot{z} = -A\omega \cos \omega t + Bt + A\omega$$

$$z = -A \sin \omega t + Bt^2 / 2 + A\omega t,$$

$$T_1 = \frac{1}{\omega} \arcsin \left( \frac{g \operatorname{ctg} \alpha}{\omega^2 r} \right)$$

Далее очиститель будет двигаться по направляющей кривой (Рис. 3).

Составим систему уравнений плоского относительного движения по направляющей кривой  $y = y(x)$ , имеющей форму окружности с радиусом, превышающем радиус сечения очистителя в виде пружины:

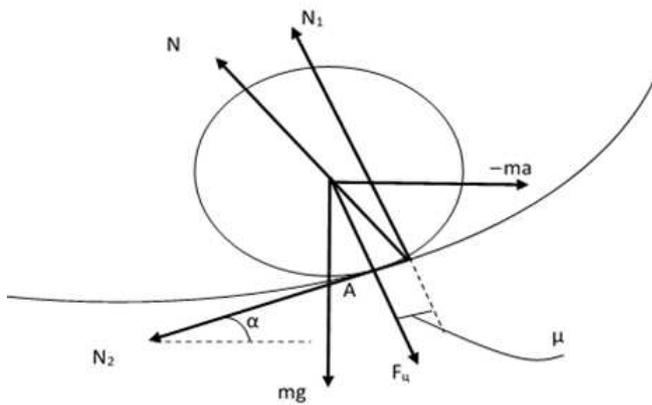


Рисунок 3 – К определению движения очистителя в виде пружины по направляющей кривой

$$\begin{cases} m\ddot{x} = \sum F_{ix} \\ J_C \varepsilon = \sum m_C (\bar{F}_i) \end{cases}$$

Учитывая, что  $-ma = m\omega^2 r \sin \omega t$ , получаем:

$$m\ddot{x} = -mg \sin \alpha + m\omega^2 r \sin \omega t - N_2 \cos \alpha - N_1 \sin \alpha,$$

$$J_C \varepsilon = N_2 R - N_1 \mu.$$

Преобразуя представленные выше выражения получим уравнения ускорения очистителя по направляющей поверхности.

$$\ddot{x} = 0,5 \left[ -\frac{gy'}{\sqrt{1+y'^2}} + \omega^2 r \sin \omega t - \left( \frac{\dot{x}^2(1+y'^2)}{R_1} + \frac{g}{\sqrt{1+y'^2}} + \omega^2 r \sin \omega t \right) (y' + f) / \sqrt{1+y'^2} \right]$$

В конце этого цикла очиститель в виде пружины отрывается от направляющей поверхности и в следующем цикле совершает полет, описываемый известной системой квазилинейных дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \ddot{x} = k\dot{x}\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} \\ \ddot{y} = -k\dot{y}\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} - g \end{cases}$$

Здесь  $x$  и  $y$  – соответственно горизонтальная и вертикальная относительные координаты центра очистителя, м;  $k$  – коэффициент парусности,  $1/м$ .

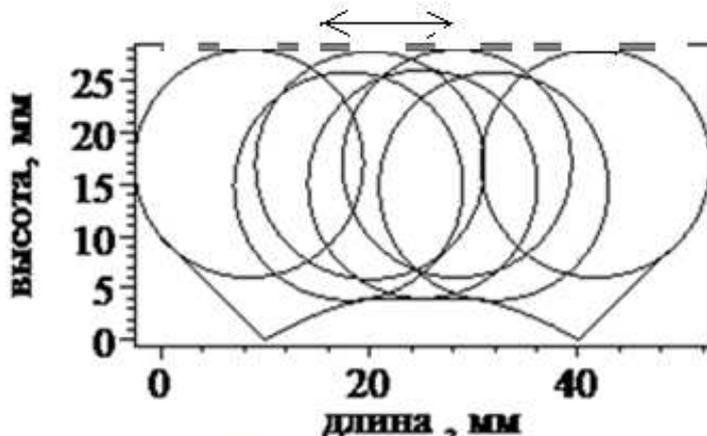


Рисунок 4 – Модель движения очистителя в виде пружины с использованием направляющей поверхности

На рисунке 4 представлена визуализация расчета движения очистителя в виде пружины по направляющей поверхности, проведенного по предложенному алгоритму. Как видно из этого рисунка, очиститель в виде пружины при применении рациональной формы направляющей поверхности имеет достаточное количество контактов с решетом, что ведет к улучшению его очистки.

На процесс очистки решет оказывает непосредственное влияние инерционные силы, которые возникают при возвратно-поступательном движении решетчатого стана. Схема сил, действующая на эксцентрик и решетчатый стан представлена на рисунке 5.

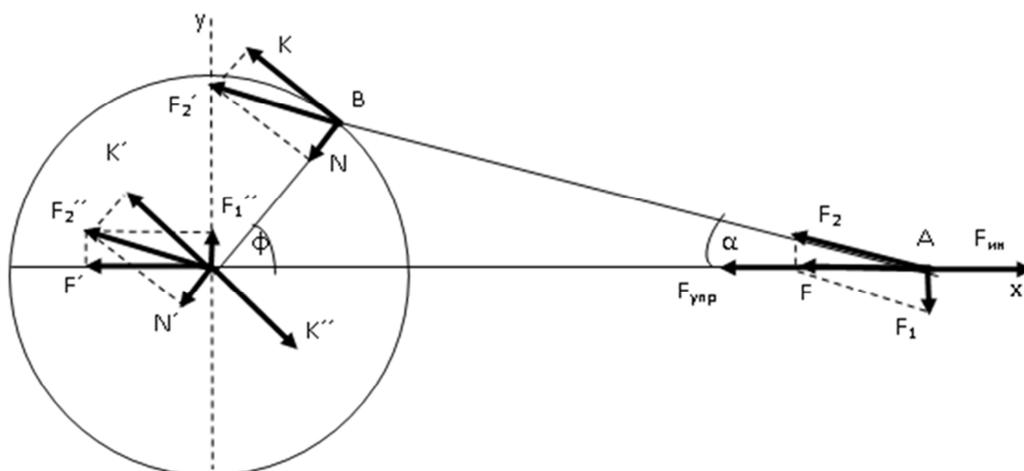


Рисунок 5– Схема сил, действующих на эксцентрик и решетный стан

Снизить их действие возможно за счет применения вместо жесткого соединения элементов привода с решетным станом горизонтально расположенной пружины и толкателя, которые обеспечат силовое взаимодействие между корпусом и эксцентриком (Рисунок 6).

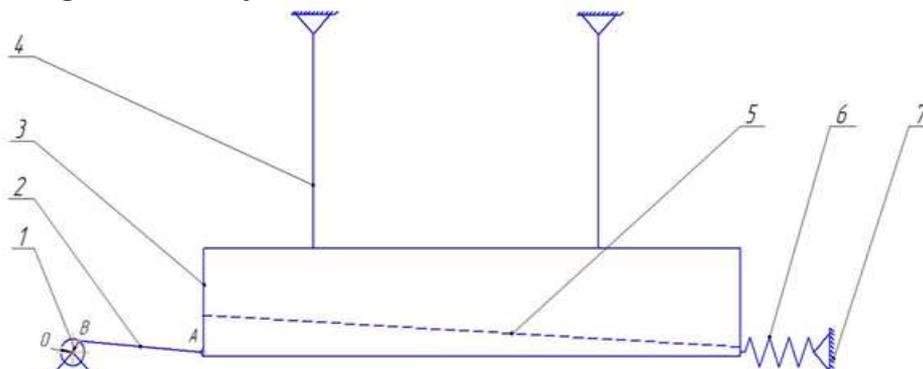


Рисунок 6 – Схема решетного стана зерноочистительной машины:

1 – эксцентрик, 2 – толкатель, 3 – решетный стан, 4 – подвеска, 5 – решето, 6 – пружина, 7 – рама машины

С учетом силы инерции суммарная сила, действующая на точку А решетного стана имеет вид:

$$F = F_{\text{упр}} - F_{\text{и}} = m\omega^2 x - cx = (m\omega^2 - c)x,$$

где  $m$  – масса решетного стана,  $c$  – жесткость пружины.

Анализируя силовое взаимодействие между эксцентриком и решетным станом с учетом пружины получаем, что для снижения этих нагрузок необходимо минимизировать величину функции  $F = (m\omega^2 - c)x$ , то есть жесткость пружины следует выбирать из соотношения:  $c = m\omega^2$ .

**В третьей главе** «Программа и методика экспериментальных исследований» представлена программа и методика экспериментальных исследований, включающая определение: гранулометрического состава бункерного вороха пшеницы; влажности пшеницы; влияния очистителей плоских решет на показатели их работы (забиваемость, просеиваемость и тд.); влияния угла наклона подвесок решетного стана на фракционирование зернового вороха озимой пшеницы; влияния привода решетного стана на показатели работы очистки.

Экспериментальные исследования по влиянию конструктивных и режимных параметров работы решетчатого стана зерноочистительной машины на показатели разделения зерновой смеси проводили в лабораторных условиях на усовершенствованной экспериментальной установке, представленной на рисунке 7.

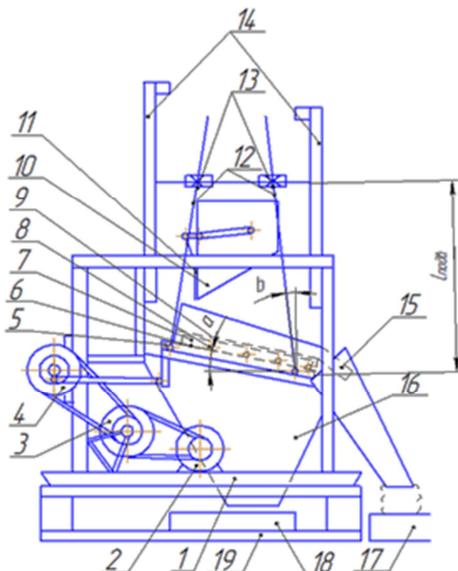


Рисунок 7 – Схема экспериментальной установки: 1 – рама; 2 – электродвигатель; 3 – вариатор; 4 – кривошипно-шатунный механизм; 5 – решетчатый стан; 6 – отражательная поверхность; 7 – подвижная клетчатая рама; 8 – очистительный элемент; 9 – решето; 10 – бункер; 11 – дозирующая заслонка; 12 – плоские пружины подвесок; 13 – регулировочные кронштейны; 14 – направляющие; 15, 16 – скатные поверхности; 17 – бункер для схода; 18 – бункер для прохода; 19 – подставка;  $\alpha$  – угол наклона решета;  $b$  – угол наклона подвесок решетчатого стана;  $l_{\text{подв.}}$  – длина подвесок решетчатого стана

Для исследования влияния очистителя плоских решет на показатели их работы использовали очиститель в виде пружины представленный на рисунке 8. Опыты проводили в трех повторностях при производительности 11,91 т/ч.

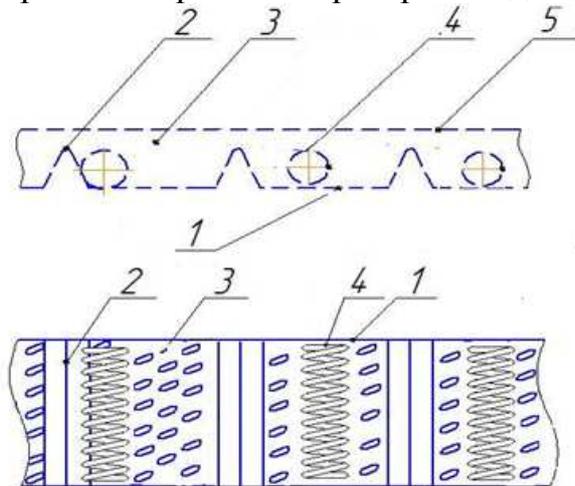


Рисунок 8 – Схема перфорированной отражательной поверхности с очистителем в виде пружины: 1 – отражательная поверхность, 2 – выступ, 3 – ячейка, 4 – очиститель в виде пружины, 5 – решето

Для определения влияния угла наклона подвесок решетчатого стана на

фракционирование зернового вороха воспользовались матрицей планирования  $1/8$  реплики многофакторного эксперимента по плану  $2^7$  Бокса-Бенкина.

При исследовании изменяли следующие параметры:  $X_1$  – подача зернового вороха на решето, т/ч;  $X_2$  – амплитуду колебаний решетного стана, мм;  $X_3$  – частоту колебаний,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $X_4$  – угол наклона решета к горизонту, град.;  $X_5$  – угол наклона подвесок решетного стана относительно вертикали, град.;  $X_6$  – длину подвесок решетного стана, м;  $X_7$  – размер отверстий решета, мм. При проведении опытов определяли массу зерна, сошедшего с решета  $Y_1$ , массу зерна, прошедшего через решето  $Y_2$ , и коэффициент сепарации  $\mu$ .

Для определения влияния угла наклона подвесок при их расположении с противоположным углом наклона относительно вертикали, по продольным сторонам решетного стана, как представлено на рисунке 9, провели серию опытов.

Угол наклона подвесок меняли от  $0^\circ$  до  $\pm 22,5^\circ$ , длину брали равной 0,3 м. Для очистки плоских решет использовали шариковые очистители.

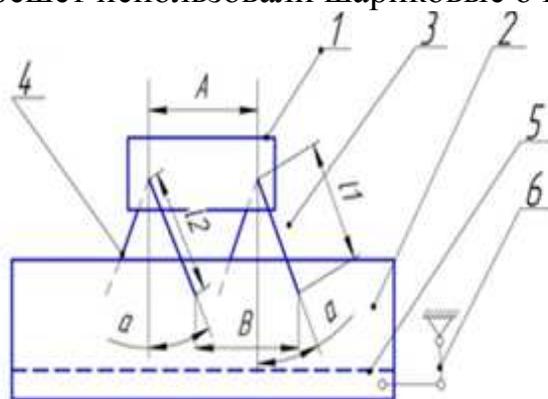


Рисунок 9 – Схема решетного стана: 1 – корпус, 2 – решетный стан, 3 – передняя плоская пружина, 4 – задняя плоская пружина, 5 – решето, 6 – привод, а – угол наклона подвесок, А, В – расстояния между верхними и нижними концами подвесок соответственно

Влияние предлагаемого привода решетного стана (Рис. 6) на показатели его работы проводили на лабораторной установке (рис 7). Зерновой ворох разделяли на две фракции. Частота колебаний решетного стана составляла 350, 400, 450  $\text{мин}^{-1}$  при амплитуде – 16, 22, 28 мм.

Отбор образцов и обработку полученных результатов проводили по стандартным методикам в соответствии с требованиями ГОСТов. Анализ результатов исследований осуществляли на основе методов пакета статистических программ STATISTIKA 7 и Maple 14.

**В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований»** в ходе лабораторных и производственных экспериментов получены и проанализированы опытные данные.

Установлено, что при размере ячейки 160 мм, значение коэффициента использования живого сечения решета для всех используемых отражательных поверхностей находится в пределах 0,92...0,94.

Анализ зависимостей, представленных на рисунке 10 показывает, что с увеличением производительности зерноочистительной машины с 4 т/ч до 30 т/ч коэффициент сепарации снижается более чем в 2 раза независимо от режима работы и типа очистителя. Сепарация зерна с увеличением амплитуды с 16 до

28 мм при частоте колебаний  $350 \text{ мин}^{-1}$  происходит эффективнее на 27,7 – 31,5% и 12,5 – 12,6%, а при частоте  $450 \text{ мин}^{-1}$  на 28,2 – 43,3% и 21,3 – 33% при применении очистителей в виде пружины и шариков соответственно. Таким образом коэффициент сепарации с применением очистителя в виде пружины выше на 3 – 15,7% чем с применением шариков.

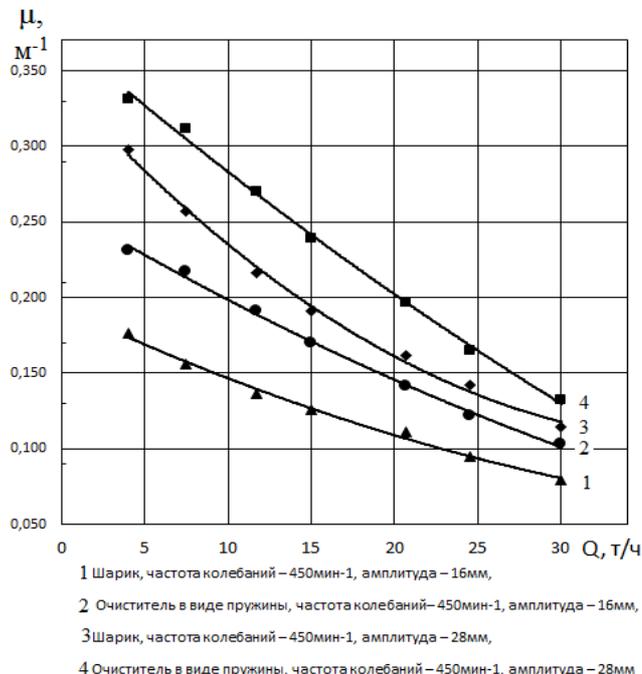
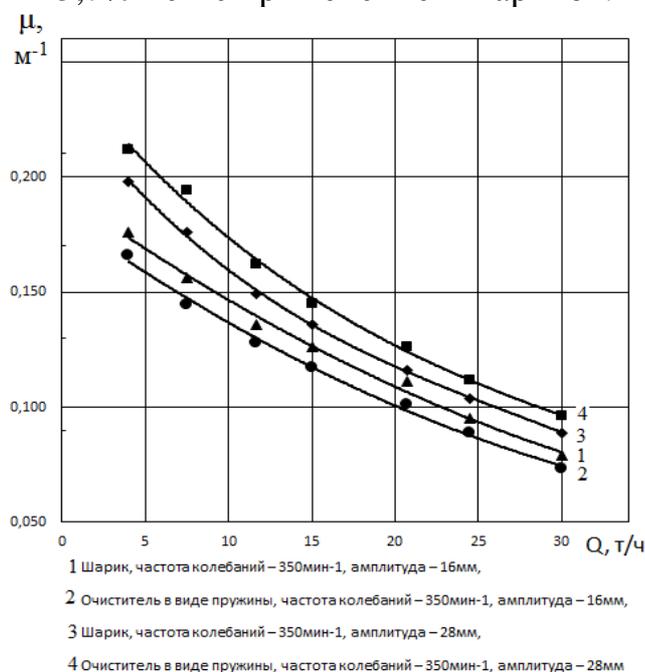


Рисунок 10 – Влияние производительности зерноочистительных машин на коэффициент сепарации

На очистку решет влияют размеры отражательной поверхности. С увеличением длины ячейки от 30,0 до 70,0 мм при различных подачах коэффициент использования живого сечения решета достигает максимального значения при длине ячейки равной 50,0 мм для шариковых очистителей 0,93...0,95, а для очистителей в виде пружины 0,97...0,98. (Рис. 11).

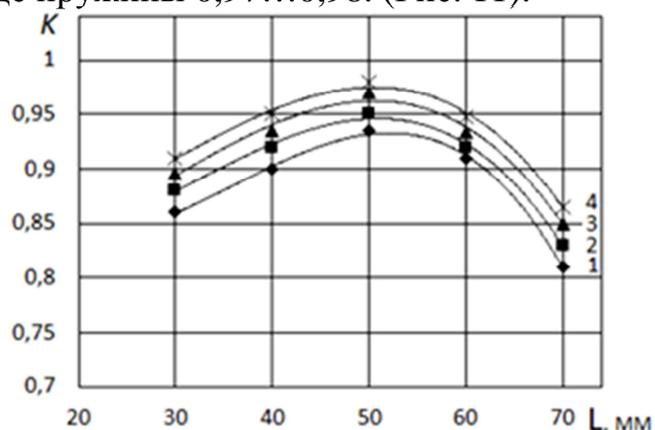


Рисунок 11 – Зависимость коэффициента использования живого сечения решета от длины ячейки: 1 – шариковый очиститель, производительность 20 т/ч; 2 - шариковый очиститель, производительность 40 т/ч; 3 – очиститель в виде пружины, производительность 20 т/ч; 4 – очиститель в виде пружины, производительность 40 т/ч

Влияние подвесок решетного стана на процесс сепарации рассматривался

в ходе 7 факторного эксперимента. Обработка результатов исследований показала, что коэффициент сепарации описывается уравнением:

$$\mu = -0,56 - 0,21X_7^2 + 0,86 \cdot 10^{-3}X_1X_7 + 5 \cdot 10^{-3}X_3X_7 - 0,02 \cdot 10^{-3}X_3^2 - 2,6 \cdot 10^{-3}X_3X_6 + 37 \cdot 10^{-3}X_1X_6 + 0,09 \cdot 10^{-3}X_2X_3 - 1,4X10^{-3}X_1X_2 - 0,37 \cdot 10^{-3}X_4X_5$$

Наиболее значимыми факторами, влияющими на коэффициент сепарации, являются размер отверстий решета и совместное влияние подачи и длины подвесок решетного стана.

Разделение зерна при использовании разнонаправленных подвесок по сравнению с вертикальными увеличивается от 6% до 39% на всех кинематических режимах работы (рисунок 12).

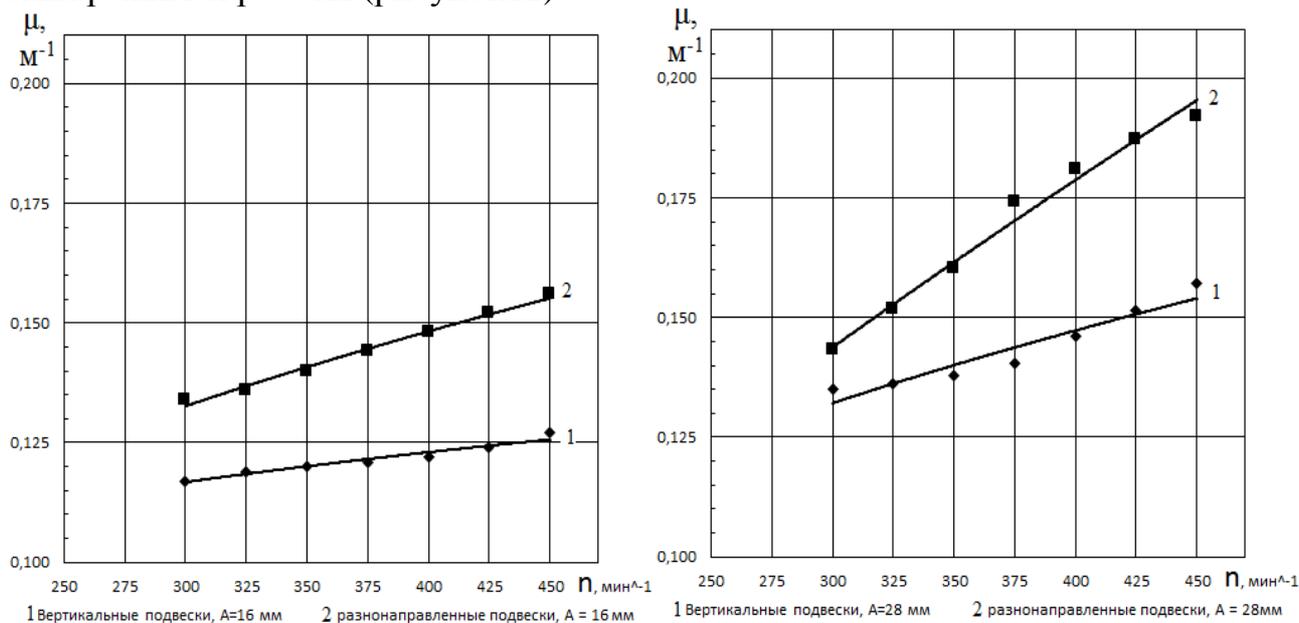


Рисунок 12 – Зависимость коэффициента сепарации от частоты колебаний решетного стана при вертикальном и разнонаправленном расположении подвесок

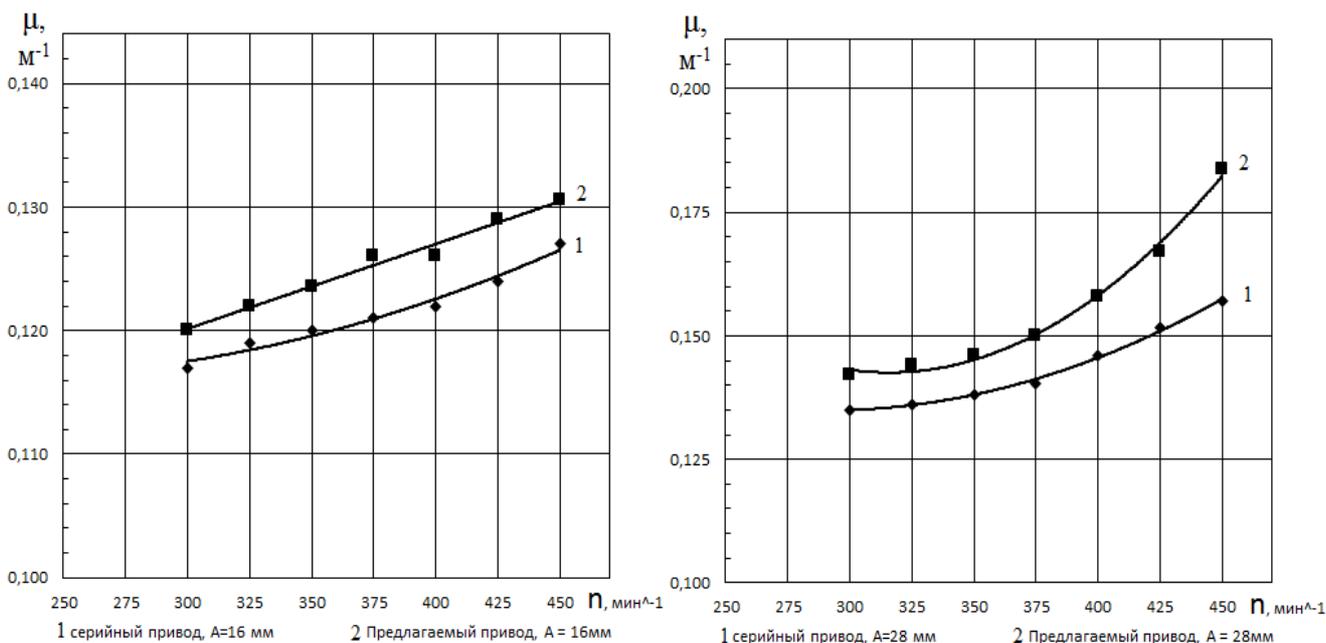


Рисунок 13 – Влияние частоты вращения приводного вала решетного стана на коэффициент сепарации

Увеличение частоты вращения вала привода решетного стана ведет к ро-

сту коэффициента сепарации  $\mu$  от 0,12 до 0,184 для экспериментального привода, и от 0,117 до 0,157 для серийного.

Использование предлагаемой конструкции привода решетчатого стана увеличивает его производительность на 3...17% в сравнении с серийным образцом (рис. 13).

Результаты исследований совместного влияния предлагаемого технического решения для привода и очистителя решет в виде пружины при использовании разнонаправленных подвесок на коэффициент сепарации зернового вороха представлены на рисунке 14.

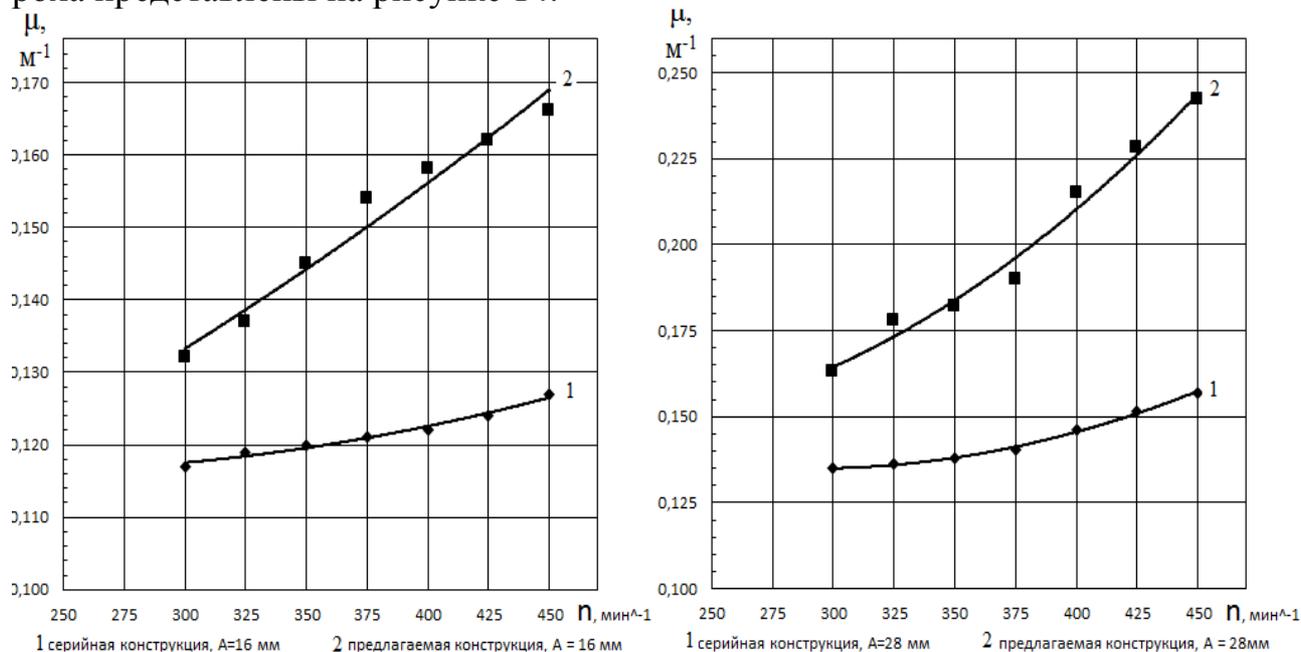


Рисунок 14 – Влияние частоты вращения вала привода решетчатого стана на коэффициент сепарации

Использование предложенных технических решений и их совместное влияние позволяет изменить характер движения зерносмеси по поверхности решета, улучшить равномерность распределения вороха на сепарирующих поверхностях, повысить степень взаимодействия частиц между собой, увеличить пропускную способность решет на 12,8...54%.

**В пятой главе «Экономическая оценка эффективности решетчатого стана»** приведены расчеты показателей экономической эффективности от модернизации решетчатого стана зерноочистительной машины ОЗФ-80/40/20.

Как показали расчеты, годовой экономический эффект от внедрения предлагаемых конструкций составляет 2398,6 тыс. руб., размер экономического эффекта за срок службы – 31740 тыс. руб. Использование зерноочистительной машины с модернизированным решетчатым станом окупиться менее чем за год ее эксплуатации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Использование предложенного технического решения очистителя плоских решет в виде пружины (патент на полезную модель № 141156) позволяет повысить качество очистки отверстий решета и соответственно коэффици-

ент сепарации на 3...15,7 %.

2. Разнонаправленные подвески решетного стана (патент на полезную модель № 135543) создают вертикальные и продольно-поперечные колебания зернового слоя, находящегося на решетке, что увеличивает эффективность процесса сепарирования на 6...39 %. Экспериментально установлены зависимости коэффициента сепарации от частоты и амплитуды колебаний решетного стана при разнонаправленном наклоне подвесок.

3. Разработанная конструкция привода решетного стана зерноочистительной машины (патент на полезную модель № 142434) способствует увеличению эффективности разделения зерновой массы на решетке на 3...17 %, а также снижает инерционные нагрузки на машину.

4. Разработана математическая модель рабочего процесса очистителя плоских решет в виде пружины, позволяющая определить конструктивные и режимные параметры, описывающие движение очистителя по циклам при использовании дополнительных направляющих на отражательной поверхности.

5. Обоснованы аналитические зависимости для определения рациональных параметров и режимов работы системы привода решетного стана зерноочистительной машины, которые позволяют принимать жесткость пружины в разработанном механизме привода из соотношения:  $c=m \cdot \omega^2$ .

6. Обоснованы рациональные параметры отражательной поверхности решетного стана зерноочистительной машины для варианта конструкции с очистителем в виде пружины. Оптимальная длина ячейки составляет 50 мм.

7. Исследованиями установлено, что при размере ячейки 160 мм значение коэффициента использования живого сечения решета для всех применяемых отражательных поверхностей находится в пределах 0,92...0,94, для ячейки длиной 50 мм максимальные значения коэффициента использования живого сечения решета составляют для шариковых очистителей 0,94...0,95, а для очистителей пружинного вида 0,97...0,98.

8. Проведенные исследования показали, что увеличение производительности зерноочистительной машины с 4 до 30 т/ч ведет к снижению коэффициента сепарации на 6...60 % независимо от режима работы и типа очистителя.

9. Совместное использование в зерноочистительной машине отражательной поверхности с продолговатыми отверстиями, имеющим радиус закругления 6,5 мм, и длиной ячейки 50 мм, с расположенными в них очистителями в виде пружин, при разнонаправленном наклоне подвесок, и предлагаемой конструкции привода позволяет увеличить коэффициент сепарации на 12,8...54 %.

10. Годовая экономическая эффективность от использования заявленных конструктивных решений в зерноочистительной машине типа ОЗФ-80 составит 2398,6 тыс. руб. при сроке окупаемости 0,4 года.

## **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ**

1. Совершенствование конструкции шариковой очистки решет / В.И.

Оробинский, А.Ю. Черемисинов, А.А. Сундеев, А.С. Корнев // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2012. – № 2(33). – С. 126-128.

2. Оробинский, В.И. Влияние режимов работы решетного стана зерноочистительной машины на эффективность сепарации / В.И. Оробинский, А.А. Сундеев, А.С. Корнев // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2013. – № 3(38). – С. 72-74.

3. Корнев, А.С. Влияние типа отражательной поверхности и размеров разделительной ячейки на качество очистки решет / А.С. Корнев // Вестник Воронежского государственного аграрного университета – 2015. – № 1(44). – С. 53-57.

4. К вопросу повышения эффективности работы механизма очистки решет / А.С. Корнев, В.И. Оробинский, В.П. Шацкий, А.А. Сундеев // Вестник Воронежского государственного аграрного университета – 2015. – № 2(45). – С. 65-71.

#### **Статьи в других изданиях**

5. Корнев, А.С. Интенсификация процесса сепарирования на плоских решетках / А.С. Корнев, // Сборник докладов конференции «Инновационные технологии на базе фундаментальных научных разработок – прорыв в будущее»: Воронеж: Воронежский ЦНТИ, 2013. – С. 21-23.

6. Корнев, А.С. К вопросу повышения эффективности работы плоских решет / А.С. Корнев, В.И. Оробинский // Инновационные технологии и технические средства для АПК: мат. науч. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов. – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2013. – С. 9-13.

7. Корнев, А.С. Повышение производительности решетных станов зерноочистительных машин / А.С. Корнев, В.И. Оробинский, А.А. Сундеев // Современные тенденции развития технологий и технических средств для АПК: мат. науч. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов по актуальным проблемам АПК в области механизации, эл-ции с./х. и пере-раб. С./х. продукции. / Колл. Авторы. – Воронеж: ФГБОУ Воронежский ГАУ, 2014. – С. 6-8.

8. Корнев, А.С. Повышение эффективности работы плоских решет, решетных станов зерноочистительных машин / А.С. Корнев, В.И. Оробинский, А.А. Сундеев // Инновационные технологии и технические средства для АПК. – 2014. – часть III. – С. 84-89.

9. Корнев, А.С. Совершенствование процесса очистки плоских решет решетных станов зерноочистительных машин / А.С. Корнев, // Сборник докладов конференции «Инновационные технологии на базе фундаментальных научных разработок – прорыв в будущее»: Воронеж: Воронежский ЦНТИ, 2014. – С. 15-17.

10. Оробинский, В. И. Влияние конструкции привода решетного стана на эффективность сепарации зерна / В.И. Оробинский, А.А. Сундеев, А.С. Корнев // Научно-практические аспекты ресурсосберегающих технологий

производства продукции и переработки отходов АПК [Текст]: межвуз. сб. нач. тр. – ВГАУ. – Воронеж, 2014. – С. 63-66.

### Патенты

11. Пат. 135543 Российская Федерация, МПК В 07В 1/46. Решетный стан зерноочистительной машины / Сундеев А.А., Гиевский А.М, Тарасенко А.П. Оробинский В.И., Корнев А.С.; заявитель и патентообладатель Воронежский государственный аграрный университет. № 2012105740/03; заявл. 17.02.2012; опубл. 20.12.13, Бюл. №35. – 7 с.

12. Пат. 139851 Российская Федерация, МПК В 07 В 1/12; В 02 В 1/02. Решето для решетного стана зерноочистительной машины / Сундеев А.А., Оробинский В.И., Корнев А.С.; заявитель и патентообладатель Воронежский государственный аграрный университет. № 2013146889/13; заявл. 21.10.2013; опубл. 27.04.14, Бюл. №12. – 6 с.

13. Пат. № 2516873 Российская Федерация, МПК В 65 G 69/00; 65/32; 11/20; 53/56. Делитель потока сыпучего материала / Сундеев А.А., Востриков П.С., Воронин В.В., Корнев А.С.: заявитель и патентообладатель Воронежский государственный аграрный университет. № 2012151108/11; заявл. 28.11.2012; опубл. 20.05.14, Бюл. №14. – 6 с.

14. Пат. 141156 Российская Федерация, МПК В 07 В 1/54. Очиститель плоских решет / Сундеев А.А., Оробинский В.И., Корнев А.С.; заявитель и патентообладатель Воронежский государственный аграрный университет. № 2013153596/03; заявл. 03.12.2013; опубл. 27.05.14, Бюл. №15. – 6 с

15. Пат. № 142434 Российская Федерация, МПК А 01 F 12/44, Решетный стан [Текст] / Сундеев А. А., Оробинский В.И., Корнев А.С.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Воронежский государственный аграрный университет. – №2013157638/13; заявл. 24.12.13; опубл. 27.06.14, Бюл. № 18. – 3 с.

16. Пат. № 151995 Российская Федерация, МПК А 01 F 12/44; Решетный стан / Сундеев А.А., Оробинский В.И., Корнев А.С., Пахомов А.Ю.: заявитель и патентообладатель Воронежский государственный аграрный университет. № 2014147545/13; заявл. 25.11.2014; опубл. 27.04.15, Бюл. №. – 6 с.

Просим принять участие в работе диссертационного совета Д 220.010.04 или выслать Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 13, ученому секретарю. Телефон (473) 253-75-35, e-mail: [et@agroeng.vsau.ru](mailto:et@agroeng.vsau.ru).

Подписано в печать 7.10.2015 г. Формат 60x80 1/16. Бумага кн.-журн.  
П.л. 1,0 Гарнитура Таймс. Тираж 100 экз. Заказ № 12734 7.10.2015.  
Типография ФГБОУ ВПО ВГАУ 394087, Воронеж, ул. Мичурина, 1.