

**КЫРГЫЗСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени К.И. СКРЯБИНА**

КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Диссертационный совет Д 05.19.596

На правах рукописи
УДК: 621.926.72

Карасартов Урмат Эркинбекович

**РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ
МАШИНЫ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПРОДУКТОВ ЗЕРНА**

05.20.01 – технологии и средства механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Бишкек 2021

Работа выполнена в Кыргызском национальном аграрном университете им. К.И. Скрябина на кафедре «Механизация сельского хозяйства имени профессора Т. Орозалиева»

Научный руководитель:

Осмонов Ысман Джусупбекович

доктор технических наук, профессор, Кыргызский национальный аграрный университет имени К.И. Скрябина, профессор кафедры Электрфикация и автоматизация сельского хозяйства

**Официальные
оппоненты:**

Ахмадов Бахромджон Раджабович

доктор технических наук, профессор, Таджикский аграрный университет имени Ш. Шотемура, проректор по научной работе

Матисаков Анарбек Жалалович

кандидат технических наук, доцент, Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры имени Н. Исанова, доцент кафедры организации перевозок и безопасности движения.

Ведущая организация:

Ошский технологический университет имени М.М. Адышева, Энергетический факультет, 723503, Кыргызская Республика, г.Ош, ул. Н. Исанова, 81

Защита диссертации состоится 24 декабря в 10.00 часовна заседании диссертационного совета Д 05.19.596 по защите диссертаций на соисканиеученой степени доктора (кандидата) технических наукпри Кыргызском национальном аграрном университете им.К.И. Скрябина и Кыргызско-Российском Славянском университете по адресу: 720005, г.Бишкек, ул. Медерова, 68.

Идентификационный код онлайн трансляции защиты диссертации в видеопортале НАК КР: <https://vc.vak.kg/b/051-ipb-gkh-tdu>

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеках Кыргызского национального аграрного университета им. К.И. Скрябина по адресу: 720005, г. Бишкек, ул. Медерова, 68, www.knau.kg и Кыргызско-Российского Славянского университета по адресу:720000, г. Бишкек, ул. Киевская, 44, www.krsu.edu.kg.

Автореферат разослан «22» ноября 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
к.т.н.

Токтоналиев Б.С.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Пищевая и перерабатывающая промышленность является приоритетной отраслью агропромышленного комплекса Кыргызской Республики. В объеме промышленного производства республики удельный вес пищевой и перерабатывающей отрасли по итогам 2019 года достиг 12% , 2020 года 11%.

При кормлении животных важное значение имеет рациональное использование концентрированных кормов, поскольку зерно является одним из главных компонентов комбикорма и других видов кормосмесей. Зерновой корм, измельченный до определенной крупности в соответствии зоотехническими требованиями, повышает среднесуточный привес живой массы на 25-28%. Поэтому измельчение зерновых кормов ведется с целью доведения исходного материала до требуемых размеров. При этом стремятся избежать образования переизмельченных частиц размером менее 0,2 мм затрудняющих проведение последующих операций (смешивание, гранулирование) и отрицательно влияющих на процесс пищеварения животных.

Измельчение зерна может осуществляться за счет сжатия, сдвига, перетирания, удара, раздавливания или сочетания этих процессов. В практике для измельчения зерна используются разные машины: молотковые дробилки, барабанные измельчители, роторные дробилки, вальцевые и жерновые мельницы. Из них некоторые не удовлетворяют зоотехническими требованиям, другие весьма невыгодны для фермерских хозяйств из-за высокой ценами.

Жерновая мельница, как машина, является объектом длительного и постепенного развития, начиная от примитивных орудий первобытного человека. С появлением вальцевого и молоткового станков роль жерновых поставов стала быстро падать. Однако жерновые мельницы имеют ряд преимуществ перед современными машинами. Продукция, изготовленная на жерновых мельницах сохраняет все минеральные вещества и витамины.

В условиях фермерских хозяйств для индивидуальной трудовой деятельности механизированная жерновая мини-мельницы используются для размола жаренных зерновых на «талкан», дробления корма для животных, но при правильной регулировке аппаратов можно получить муку.

Измельчение зерна в жерновой мельнице происходит между двумя жерновыми, из которых один вращающийся, а другой находится в неподвижном состоянии. Жерновые камни изготавливаются из естественных камней. Для эффективного измельчения продукта, они

должны обладать свойствами: твердости – для повышения износоустойчивости, вязкости – для избежания выкрошивания частиц и попадания их в продукты размола; шероховатой поверхностью – для повышения фрикционного воздействия на продукт по всей рабочей поверхности; прочностью – обеспечения надежности при больших скоростях вращения диска не должны быть трещины, чтобы избежать отделения больших кусков или разрыва жернова во время работы.

Для фермерских хозяйств Кыргызской Республики выгодно приобретать малогабаритные, универсальные и в то же время дешевые мини мельницы как жерновая мельница ММП-150/50, однако это мельница имеет ряд недостатков.

Работа направлена на разработку и обоснование основных параметров мини жерновой мельницы с горизонтальной осью вращения. На основе теоретических и экспериментальных исследований разработана мини-мельница и обоснованы ее основные параметры.

Работа выполнена в соответствии с координационными научно-техническими программами по теме: «Разработка и создание универсального измельчителя продуктов зерновых культур для фермерских хозяйств» финансируемый по линии Министерства образования и науки Кыргызской Республики. Договора № ПМБИ-029/010, № ПМБИ-017/011.

Цель и задачи исследования: целью работы является разработка новой конструкции многофункциональной, экономичной и малогабаритной машины для измельчения и помола продуктов зерновых культур, обоснование ее основных параметров.

Практическая реализация указанной цели осуществляется путем решения следующих **задач**:

- анализ и оценка существующих конструкций машин для измельчения зерновых продуктов;
- изучение передового опыта при конструировании машин данного типа и обоснование выбора многофункциональной, малогабаритной конструкции машины;
- теоретические предпосылки и аналитические исследования к расчету основных параметров разрабатываемой машины;
- экспериментальные исследования и обоснование основных параметров машины с учетом основного критерия – улучшение качества готового продукта;
- расчет технико-экономических показателей работы.

Отличительные особенности машины: простота конструкции, уменьшенные массогабаритные показатели. В конструкции использованы известные, апробированные в практике, а также новые технические

решения, позволяющие улучшить эксплуатационную надежность машины.

Объект исследования. Объектом исследований является многофункциональная малогабаритная машина для измельчения продуктов зерновых культур (Патенты №1830, 1860 Кыргызской Республики на изобретения).

Предмет исследований. Закономерности влияния параметров рабочих поверхностей жерновов и упруго-вязких свойств обрабатываемых материалов на качества помола, технологические и энергетические показатели процесса измельчения.

Научная новизна.

- предложена новая конструкция рабочего органа жерновой мельницы в виде пяти сквозных отверстий на неподвижном жернове и в отверстиях кроме центральных на которых установлены четыре напороустойчивые трубки со специальными косыми наконечниками;

- разработана методика расчета охлаждающих каналов жерновой мельницы с вертикальным рабочим органом;

- разработаны компьютерное моделирование рабочего органа жерновой мельницы и процесса его охлаждения воздушным потоком;

- обоснованы параметры аспирационных отверстий для увеличения производительности и улучшения качества продукции.

Практическая значимость исследований: по результатам исследований разработан опытно-производственный образец жерновой мельницы, малогабаритной с улучшенными конструктивными и эксплуатационными параметрами, соответствующей требованиям фермерских хозяйств. Жерновая мини-мельница прошла производственные испытания на базе Учреждение «Научно-исследовательский центр проблем машиностроения им. С. Абдраимова» в соответствии с соглашением о научно-практическом сотрудничестве и внедрена в фермерском хозяйстве «Кайрат» Сокулукского района, Чуйской области. Материалы диссертации использованы в учебном процессе инженерно-технического факультета Кыргызского национального аграрного университета им. К. И. Скрябина (КНАУ) при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Агроинженерия».

Экономическая значимость полученных результатов. Предлагаемая мини-мельница для фермерских хозяйств показывает, что за счет снижения эксплуатационных затрат и расхода энергии годовая экономия от применения измельчителя новой конструкции по сравнению с прототипом составляет 21 тыс. сомов в год со сроком окупаемости 4,8 лет.

Методическую основу исследований составляют математические методы моделирования, методы экспериментальных исследований, статистические методы и инженерные расчеты.

Для проведения экспериментальных исследований создана экспериментальная установка, разработаны частные методики, а также были использованы общепринятые методы и способы. Экспериментальные данные обрабатывались методами математической статистики, теории вероятности и графоаналитическими методами.

Основные положения, выносимые на защиту:

- новая конструкция рабочего органа жерновой мельницы в виде пяти сквозных отверстий на неподвижном жернове и в отверстиях кроме центральных установлены напороустойчивые трубки со специальными косыми наконечниками;

- методика расчета охлаждающих каналов жерновой мельницы;

- обоснованные параметры аспирационных отверстий для увеличения производительности и улучшения качества продукции.

Личный вклад соискателя: сформулирована цель и решены задачи исследования, выполнены теоретические и экспериментальные исследования, разработана новая конструкция рабочего органа минимельницы с улучшенной аспирацией.

Апробация результатов исследований: Основные содержания диссертационной работы докладывались:

- на Международной научно-практической конференции «Развитие научно-технического потенциала мелиорации и водного хозяйства на современном этапе в Кыргызской Республике» (г. Бишкек, КНАУ 2009 г.);

- на Международной научно-практической конференции посвященной 70-летию юбилею д.с.-х.н., профессора Орозалиева Т. О. «Проблемы и пути повышения эксплуатационной эффективности аграрных машин» (г. Бишкек, КНАУ 12 октября 2016 г.);

- на Международной научно-практической конференции посвященной 85-летию КНАУ им. К.И. Скрябина (г. Бишкек, КНАУ 2018 г.);

- на Международной научно-практической конференции: «Аграрная наука сельскому хозяйству» (Алтайский государственный аграрный университет (г. Барнаул, 2018г.).

Публикации: по теме диссертации опубликованы 8 научных трудов, из них 2 в изданиях зарубежных РИНЦ, 4 в изданиях РИНЦ Кыргызской Республики, 2 патента на изобретения Кыргызской Республики.

Структура и объем диссертации. диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка использованных источников и приложений. Работа изложена на 123 страницах компьютерного текста,

содержит 37 рисунков, 21 таблиц, 122 источников литературы и 5 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении отражены актуальность темы, сформулированы цели и задачи, предмет и объект исследования, научная новизна, практическая ценность и основные положения выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние вопроса и задачи исследований» показаны физико-механические и технологические свойства зерна и их влияние на параметры машин как обрабатываемого материала, проведены анализы конструкций жерновых мельниц, применяемых в Кыргызской Республике и зарубежных странах, работ по исследованию технологических процессов измельчения зерна, патентный поиск, выбор объекта исследования.

Исследованиями технологических процессов измельчения зерна занимались Горячкин В.П., Кулаковский И.В., Жислин Я.М., Аипов Р.С., Таранин С.А., Нугуманов Р.Р., Мельников С.В., Абдраимов С.А., Аканов Д.К. и другие ученые и специалисты.

Во всех рассмотренных мельницах отсутствует аспирационная установка для охлаждения жерновых камней и перерабатываемого сырья. Процесс измельчения зерна в муку сопровождается большим выделением тепла и влаги. Мука при этом нагревается до 80⁰ С. При усиленном выделении влаги на рабочей поверхности жерновов образуется клейстер, который замазывает мелкую насечку и бороздки жерновов. Этим нарушается процесс размола зерна и снижается производительность машины. В связи с этим для увеличения производительности мельницы и сохранения качества продуктанеобходимо создать приток дополнительного объема воздуха установкой вентиляции. Этот процесс называется аспирацией. Аспирацией жернового постава достигается увеличение производительности на 20-25% и сохраняется качество продукции. В связи с этим совместно с Инженерной академией Кыргызской Республики разработан и создан универсальный станок ММП-150/50, который выполняет две рабочие функции: мельница для измельчения зерновых культур и маслопресс для отжима масличных культур.

Преимуществом данного станка из вышеуказанных является универсальность, простота конструкции, технологичность изготовления деталей, возможность смены исполнительного органа, а также применение вентилятора для улучшения аспирацию.

Проведенные экспериментальные исследования на универсальном станке ММП 150/50 с вертикально расположенными жерновами выяснили следующие недостатки: подача воздуха (аспирация) через центр круга жерновой мельницы в целом положительно влияет на процесс измельчения, однако рабочая поверхность вращающегося жернова недостаточно обдувается и охлаждается, измельчаемый продукт-мука часто перегревается и подгорает, теряя вкусовые качества; не все параметры вентилятора учтены в экспериментальном опыте, неоднократно перегревался двигатель вентилятора; с установкой вентилятора изменились некоторые параметры такие, как: энергопотребление и габаритные размеры.

При анализе конструкции существующих жерновых мельниц, возникли новые конструктивные задачи, которые при создании машин для измельчения сыпучих пищевых продуктов необходимо решить в следующих направлениях: технико-экономическая эффективность; износостойкость рабочих органов; технологичность конструкции машин; улучшение охлаждающего воздуха для аспирации рабочего органа и перерабатываемого сырья.

Во второй главе «Математическое моделирование и методика расчета основных элементов мини-мельницы» приведена обобщенная математическая модель жерновой мини-мельницы и моделирование аспирационного процесса жерновой мельницы в программном комплексе SolidWorks Flow Simulation

Мини-мельница ММП-150/50 новой конструкции может быть представлена в виде двухмассовой модели, где первая масса моделирует часть машины до ременной передачи и характеризуется моментом на валу двигателя (M_g), а вторая масса - после нее, характеризуется моментом сопротивления, действующей на жернова (M_c), то есть динамическая модель мини-мельницы состоит из двух компонентов.

В мини-мельнице установлен асинхронный двигатель типа 4А112М4УЗ мощностью $N=5,5$ кВт. Известно, что движущий момент из рабочей части характеристики подобных двигателей аппроксимируется прямой:

$$M_g = A - B\omega_1, \quad (1)$$

где ω_1 – угловая скорость, рад/с; A, B – постоянные коэффициенты.

Зависимость (1) показывает, что с увеличением ω_1 уменьшается движущий момент M_g . Уменьшение M_g сильнее выражено, при большом коэффициенте B .

Коэффициенты A и B определяются по формуле:

$$A = \frac{M_n \cdot \omega_c}{\omega_c \cdot \omega_n}; \quad B = \frac{M_n \cdot \omega_1}{\omega_c \cdot \omega_n}, \quad (2)$$

где ω_c , ω_n – соответственно, синхронная и номинальная угловые скорости вала двигателя, рад/с; M_n – номинальный момент двигателя, Н·м.

Момент сопротивления M_c зависит от угла поворота второй массы φ_2 , но мало зависит от частоты вращения ω_1 . Момент M_c можно представить как сумму из двух слагаемых:

$$M_c = M_{cm} + M_{cv}, \quad (3)$$

где M_{cm} – постоянное слагаемое, характеризующие среднее за цикл значение момента M_c ; Н·м;

M_{cv} – переменное слагаемое, характеризующее функцию обобщенной координаты φ_2 , Н·м.

$$M_{cm} = M_{csp} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} M_c d\varphi_2, \quad (4)$$

$$M_{cv} = M_{cv}(\varphi_2). \quad (5)$$

Момент инерции мини-мельницы J_Σ можно представить как сумма из трех слагаемых:

$$J_\Sigma = J_1 + J_2 + J_3, \quad (6)$$

где J_1, J_2, J_3 – моменты инерции соответственно первой массы (ротора двигателя J_δ , ведущего J_{u1} и ведомого J_{u2} шкивов), второй массы (вал на котором установлен подвижный жернов $J_{\delta 2}$ и жернов неподвижный $J_{жс}$), и обрабатываемого материала (силы внутреннего и внешнего (сухого) трения), кг·м².

Момент инерции ротора двигателя J_δ по справочным данным равно $J_\delta = 170 \cdot 10^{-4}$ кг·м². Значения моментов инерции соответственно ведущего J_{u1} и ведомого J_{u2} шкивов в соответствии с данными составляют $J_{u1} = 20,7 \cdot 10^{-4}$ кг·м², $J_{u2} = 890 \cdot 10^{-4}$ кг·м². Таким образом, $J_1 = J_\delta + J_{u1} + J_{u2} = 1080,7 \cdot 10^{-4}$ кг·м².

Момент инерции второй массы: $J_{\delta 2}$ и $J_{жс}$, также в соответствии с данными равны $J_{\delta 2} = 5,39 \cdot 10^{-4}$ кг·м², $J_{жс} = 8700 \cdot 10^{-4}$ кг·м².

Момент инерции обрабатываемого материала J_3 определяется с учетом сил трения: внутреннего (вязкого) и внешнего (сухого).

Силы внутреннего (вязкого) трения зерна внутри рабочей зоны мини-мельницы противодействуют динамическому изменению в движении зерна. Величина силы внутреннего трения зависит от радиуса жерновов и скорости движения потока зерна в рабочей зоне мельницы.

Определение силы внутреннего трения основана по теории вязкости жидкости при переходе от слоя к слою:

$$F_{в.мп} = \beta \cdot V, \quad (7)$$

где $F_{в.мп}$ – сила внутреннего (вязкого) трения зерна, Н;

β – коэффициент вязкого трения, Н·с/м;

V – скорость движения потока зерна в рабочей зоне, м/с.

Выражение для определения коэффициента вязкого трения имеет следующий вид:

$$\beta = \frac{h_0 \cdot \rho_3 + 4\sigma \cdot f_6 \cdot g_3 \cdot R_{жс}}{4 \cdot \dot{\gamma}}, \quad (8)$$

где h_0 – высота вертикально стоящего столба сыпучего материала, м;

ρ_3 – плотность зерна, кг/м³;

σ – напряжение сжатия, кг/м²;

f_6 – коэффициент внутреннего трения зерна;

$\dot{\gamma}$ – скорость сдвига, с⁻¹;

g_3 – ускорение свободного падения зерна, м/с²;

$R_{жс}$ – радиус жерновов, м.

Расчетные значения коэффициента вязкого трения β для пшеницы составляют 40,4 ... 48,7 Н·с/м. Коэффициент внутреннего трения f_6 пшеницы находится в пределах 0,32 ... 0,45.

Для определения силы внешнего (сухого) трения в рабочем пространстве использовали выражение:

$$F_{с.мп} = f_c \cdot N, \quad (9)$$

где $f_c = tg\varphi$ – коэффициент трения зерна и камня (где φ – угол трения);

$N = mg_3$ – сила нормального давления, Н.

Коэффициент трения продукта и камня зависит от вида камня и измельчаемого зерна. Угол трения φ для измельчения зерна в муку находится в пределах 34...37°. При этом расчетные значения f_c и $F_{с.мп}$ составляют 0,67 ... 0,75, $F_{с.мп} = 18,63 ... 20,86$ Н.

Уравнение движения мини-мельницы в дифференциальной форме имеет вид:

$$J_{\Sigma} = \frac{d\omega_1}{dt} + \frac{1}{2} \frac{dJ_{\Sigma}}{d\varphi} \omega_1^2 = M_g + M_c, \quad (10)$$

С учетом уравнений (1), (3), (4) и (5) получим:

$$J_{\Sigma} = \frac{d\omega_1}{dt} + \frac{1}{2} \frac{dJ_{\Sigma}}{d\varphi} \omega_1^2 = (A - B\omega_1) + \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} M_c d\varphi + M_{cv}(\varphi). \quad (11)$$

В дальнейших исследованиях нас больше интересует уравнение, описывающее движение рабочего органа (жернова) мини-мельницы, которое может быть представлено в дифференциальной форме:

$$(J_2 + J_3) \frac{d\omega_1}{dt} = F_6 \cdot R_{жс} + F_{жс} \cdot R_{жс} - F_{в.мп} \cdot R_{жс} - F_{с.мп} \cdot R_{жс} \quad (12)$$

где J_2, J_3 - моменты инерции соответственно второй массы и обрабатываемого материала, $\text{кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}^2$ (Н·м);

F_6 - сила, развиваемая двигателем, без учета массы неподвижного жернова, Н;

$F_{жс}$ - сила, затрачиваемая на неподвижный жернов, Н;

$F_{в.мп}$ - сила внутреннего (вязкого) трения, Н;

$F_{с.мп}$ - сила внешнего (сухого) трения, Н;

$R_{жс}$ - радиус жернова, м.

Для исследования аэродинамики рабочего органа жерновой мини-мельницы были созданы 3D модели с помощью программного комплекса SolidWorks (Рисунок 1). В качестве объекта моделирования воздушного потока внутри рабочего органа был выбран интегрированный расчетный модуль SolidWorks Flow Simulation (далее –Flow Simulation) который предназначен для решения задач гидрогазодинамики и теплопередачи.

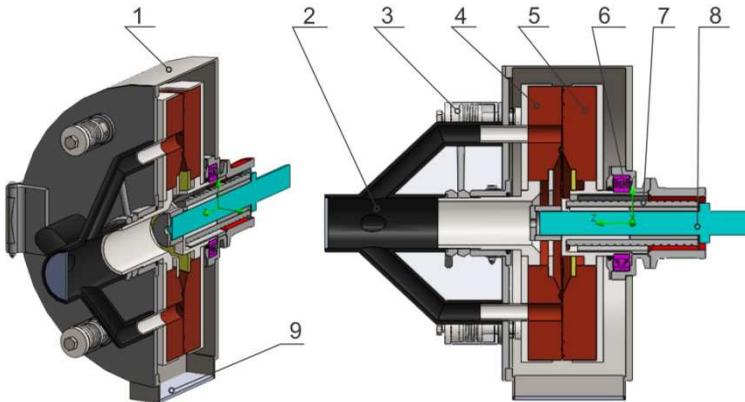


Рисунок 1 - 3D модель рабочего органа жерновой мельницы с горизонтальной осью вращения в разрезе

1- корпус, 2- воздуховод, 3- прижимной механизм, 4- неподвижная жернова, 5-подвижная жернова, 6-подшипник, 7-шnek, 8-приводной вал, 9-выход для готового продукта.

Flow Simulation моделирует движение потока, на основе решения уравнения Навье-Стокса, которое является интерпретацией законов сохранения массы, импульса, и энергии для потока жидкости и газа. Уравнения дополнены выражениями состояния среды, которые определяют природу этой среды и эмпирическими зависимостями плотности, вязкости и теплопроводности среды от температуры. Для расчётной области строится структурированная неравномерная сетка с разбиением по мере приближения к поверхности модели, и на участках с большими градиентами физических параметров текучей среды.

Для проведения аэродинамического расчета были определены следующие начальные условия: в качестве текучей среды выбран воздух; температура окружающей среды – 20,05°C; коэффициент теплоотдачи гранита 2,66 Вт/м·К. Установлены следующие граничные условия модели: объемный расход воздуха на рабочем пространстве жерновой мельницы 0,04 м³/с; давление окружающей среды установлено 101325 Па.

В результате были смоделированы газодинамические процессы для нахождения таких параметров, как скорость потока, распределение давления, а также скорость и траектория частиц. Их визуализация представлены на рисунках 2, 3.

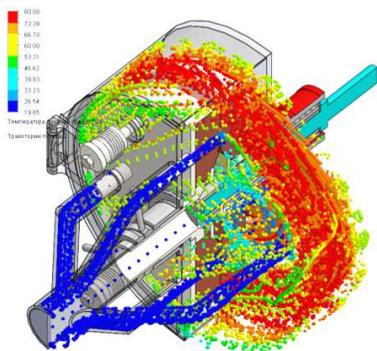


Рисунок 2 - Температура и траектория потока воздуха

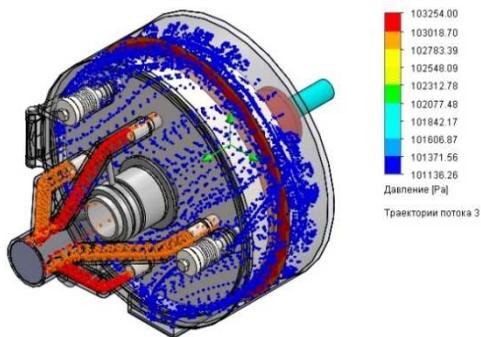


Рисунок 3 - Давления и траектория потока воздуха

В третьей главе «Результаты экспериментальных исследований конструктивно-технологической схемы жерновой мини-мельницы» приведены теоретические исследования и разработка усовершенствованной конструкции жерновой мельницы ММП 150/50.

Нами разработаны жерновые мельницы в двух вариантах с улучшенными конструктивными и режимными параметрами с учетом требований малых сельхозформирований (фермерские и крестьянские хозяйства), которым нужны низко энергоемкие мини-машины с

рациональной производительностью, обеспечивающие более однородный состав готового продукта без запаха гари, устраняющие налипание клейстеров на поверхностях рабочих органов.

Конструкции жерновых мельниц защищены патентами Кыргызской Республики на изобретения: №1830 «Жерновая мельница» и №1860 «Жерновая мельница»

На рисунке 4 показана общая схема жерновой мельницы (вариант 1), на рисунке 5- неподвижный жернов с пятью сквозными отверстиями.

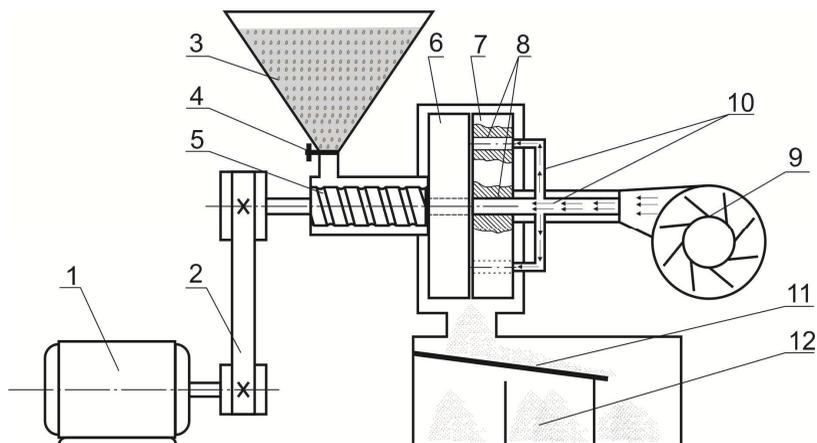


Рисунок 4 - Общая схема жерновой мельницы (вариант 1)

1 - электродвигатель, 2 - электропривод, 3 - бункер, 4 - заслонка, 5 - шнек, 6, 7 - подвижный и неподвижный жернова, 8 - отверстия, 9 - вентилятор, 10 - воздухопровод, 11 - сито, 12-бункер.

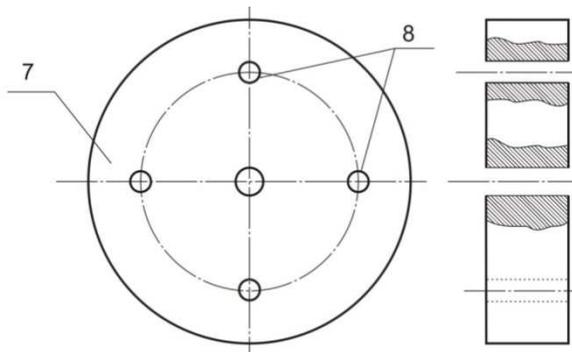


Рисунок 5 - Неподвижный жернов с отверстиями

7 - неподвижный жернов, 8 - отверстия.

Жерновая мельница работает следующим образом. Вращательное движение вала электродвигателя 1 через приводной механизм 2 передается к исполнительному механизму вращающегося жернова 6. Зерно из бункера 3 с помощью шнекового механизма 5 через отверстие в ведущем камне попадает в рабочую зону – щель между подвижными и неподвижными жерновами, и измельчается до необходимой кондиции, а подача зерна регулируется заслонкой 4. Воздух вентилятором 9 подается через воздухопровод 10 к отверстиям 8 в неподвижном жернове 7 на рабочую поверхность главных и второстепенных бороздок на подающемся и размалываемом поясе движущегося жернова 6 продувает рабочую зону, дополнительно охлаждает рабочие поверхности жернова и обрабатываемую продукцию.

Измельченный готовый продукт через барабанное сито 11 попадает в бункер для готового продукта 12.

На рисунке 6а, 6б приведена общая схема жерновой мельницы (вариант 2) и неподвижный жернов с напороустойчивыми трубками имеющими косые наконечники, соответственно.

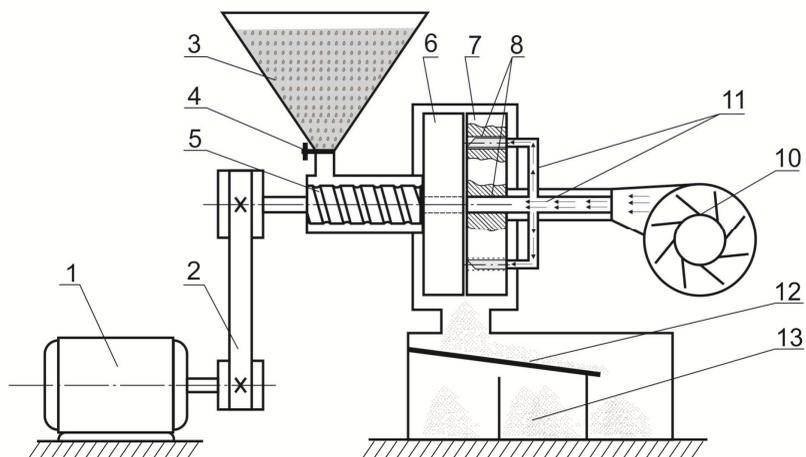


Рисунок 6а - Общая схема жерновой мельницы (вариант 2)

1 - электродвигатель, 2 - электропривод, 3 - бункер, 4 - заслонка, 5 - шнек, 6, 7 - подвижный и неподвижный жернова, 8 - отверстия, 9 - трубки с косыми наконечниками (указан на рисунке 6б), 10 - компрессор, 11 - шланги высокого давления, 12 - сито, 13 - бункер.

Отличительной особенностью жерновой мельницы во втором варианте является то, что в конструкции данной мельницы улучшена охлаждающая система. Для этого в сквозных отверстиях неподвижного

жернова установлены напороустойчивые трубки со специальными косыми наконечниками и использован компрессор (вместо вентилятора) со шлангами высокого давления.

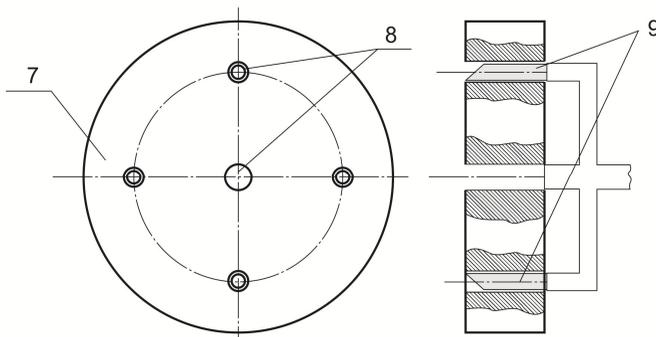


Рисунок 6б - Неподвижный жернов с напороустойчивыми трубками 7 - неподвижный жернов, 8 - отверстия, 9 - трубки с косыми наконечниками.

Рабочий процесс жерновой мельницы (вариант 2) с учетом выше указанных конструктивных изменений, протекает следующим образом. Подача зерна и регулировки массы подаваемого зерна осуществляется аналогично к варианту 1, а система охлаждения работает следующим образом: создаваемый компрессором 10 высоконапорный сжатый поток воздуха подается через шланги высокого давления 11 в напороустойчивые трубки специальными косыми наконечниками 9, установленными в отверстиях 8, в рабочую зону между двумя подвижными и неподвижными жерновами и продувает рабочую зону высоким напором воздуха, охлаждает поверхности рабочих органов и измельчаемую продукцию, заодно одновременно направляя последних к своевременному ускоренному выпадению их из камеры измельчения под определенным углом к направлению вращения вращающегося жернова, и тем ускоряя процесс выпадения муки из рабочей зоны измельчения и способствуя повышению производительности мельницы.

Основным отличительным признаком разрабатываемых вариантов жерновых мельниц является интенсификация охлаждения рабочих поверхностей жернова и измельчаемого материала (зерна).

Измельченный материал выводится из рабочей зоны со скоростью созданной вращающейся жерновой инерционной силой и воздушном вихрем, даже при повышенных подачах материала он разрушается чисто ударным нагружением, вследствие чего он не перегревается, из-за уменьшения в процессе перетирания и применения дополнительного

охлаждения поверхности рабочего органа и материала, улучшается качество измельчения и отсутствует запах гари в готовых продуктах, что позволяет получить высококачественный более однородный состав продукта.

Также рассмотрены технологии и разработка жерновых камней для мельницы. В практике жерновые камни бывают искусственные и естественные. Для изготовления естественных жерновов применяются кварцевые камни, гранит и порфиновые камни, содержащие минимальное количество острых кристаллов.

При выборе конструкции вентилятора учтены его оптимальные режимы работы, соответствующие данным эксплуатационным условиям и заданным параметрам технологического процесса измельчения. Воздушный поток, создаваемый центробежным вентилятором в технологическом процессе измельчения сыпучих пищевых продуктов может выполнять три задачи: охлаждает жернова, обеспечивая оптимальный температурный режим; увеличивает выход измельчаемого продукта; повышает качество измельчаемого продукта.

Аналитическим исследованием геометрического параметра шнекового механизма универсального станка ММП-150/50 установлено, что винтовая линия шнека является пространственной кривой. Траекторию транспортируемого зерна пшеницы по цилиндрической поверхности шнека можно описать параметрическим уравнением в следующем виде:

$$\begin{cases} X = R \cos \varphi; \\ Y = R \sin \varphi; \\ Z = R \varphi \tan \alpha. \end{cases} \quad (13)$$

где X, Y, Z – координаты точек винтовой линии; R – расстояние от оси Z до точек (радиус) винтовой линии; φ – угол поворота точек по отношению к ее первоначальному положению; α – угол подъема винтовой линии.

Поскольку U_z является функцией Z , то есть $U_z = f_1(Z)$, то угол подъема винтовой линии α также будет функцией координаты Z , тогда

$$\alpha = f_2(Z). \quad (14)$$

Следовательно, координата Z винтовой линии, является функцией круговой координаты φ . Поэтому

$$Z = f_3(\varphi). \quad (15)$$

При этом уравнение винтовой линии имеет следующий вид:

$$\begin{cases} X = R \cos \varphi; \\ Y = R \sin \varphi; \\ Z = R \varphi \operatorname{tg}\{f_2[f_3(\varphi)]\} \end{cases} \quad (16)$$

где f_2, f_3 – коэффициенты трения зерна о кожу и шнек, соответственно.

Движение зерна пшеницы по цилиндрической винтовой линии схематично показано на рисунке 7.

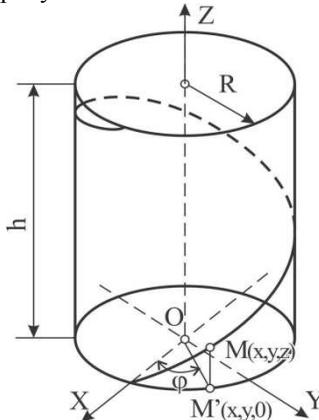


Рисунок 7 - Схема движения зерна по цилиндрической винтовой линии

Путь зерна, проходимый по заданной траектории винтовой линии, определяется известным соотношением:

$$S = \int_0^{\varphi_k} \sqrt{\left(\frac{dx}{d\varphi}\right)^2 + \left(\frac{dy}{d\varphi}\right)^2 + \left(\frac{dz}{d\varphi}\right)^2} \cdot d\varphi. \quad (17)$$

Продифференцировав уравнение винтовой линии (16) получим;

$$\begin{aligned} \frac{dx}{d\varphi} &= -R \sin \varphi \\ \frac{dy}{d\varphi} &= R \cos \varphi \\ \frac{dz}{d\varphi} &= R \operatorname{tg}\{f_2[f_3(\varphi)]\} + R \varphi \frac{d}{d\varphi} \operatorname{tg}\{f_2[f_3(\varphi)]\} \end{aligned} \quad (18)$$

Время пребывания зерна в кожухе

$$t = \int_0^{S_{max}} \frac{ds}{V_{3,m}} + c; \quad (19)$$

где c – постоянная интегрирования, определяемая из условия $t=0; S=0$;

$V_{3,т}$ – скорость зерна транспортируемая в шнековом механизме, м/с.

Скорость зерна, транспортируемая в шнековом механизме определяется по известной формуле:

$$V_{3,Т} = \sqrt{V_z^2 + V_y^2} = \frac{ds}{dt}, \quad (20)$$

где $V_{3,Т}$, V_z , V_y - соответственно скорости зерна в зоне транспортировки, вертикальном и горизонтальном направлениях соответственно; S – путь зерна, проходимый по заданной траектории винтовой линии.

Следует отметить, что при определении величины скорости $V_{3,Т}$ перемещения транспортируемого материала вдоль винтовой оси необходимо учитывать шаг винтовой линии $S_{ш}$, зависимость угла подъема винтовой линии α от радиуса R и коэффициента трения поверхности о материал (пшеницы) (рисунок 8).

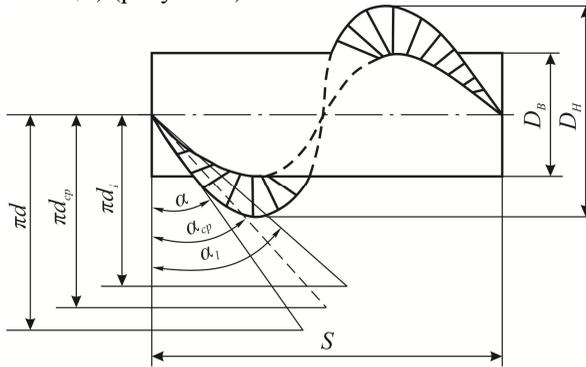


Рисунок 8 - Зависимость угла подъема α от радиуса винтовой линии πd

Расчетные параметры шнека для построения графической зависимости от производительности шнека и частоты вращения, приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Расчетные значения производительности шнека

Наружный диаметр шнека D_n , м	Внутренний диаметр шнека d_b , м	Шаг шнека S , м	Частота вращения n , об/мин	Производительность шнека $Q_{ш}$, кг/с
0,066	0,063	0,011	100	0,034
			200	0,040
			300	0,044
			400	0,048
			500	0,053
			600	0,057
			700	0,062

В четвертой главе рассмотрена экономическая эффективность использования результатов исследования.

Расчет экономической эффективности предлагаемой мини-мельницы для зерна в сравнении с прототипом ММП–150/50 проведен на основании данных, полученных в результате лабораторных испытаний, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Исходные данные для расчета экономической эффективности

№	Показатели	Единица измерения	ММП-150/50	Предлагаемая мини мельница
1	Производительность, Q_m	т/час	0,15	0,17
2	Годовой фонд рабочего времени, загрузка	час	1891,9	1669,3
3	Общая мощность, N_m	кВт	6,6	6,25
	Мощность привода мельницы	кВт	5,5	5,5
	Мощность вентилятора	кВт	1,1	0,75
4	Удельный расход энергии, $q_{эл} = N_m / Q_m$	кВт·ч/т	44	36,8
5	Годовой расход энергии	кВт·ч	124867	10443,5
6	Годовая выработка	т	283,79	283,79
7	Потеря зерна от сгорания при дроблении, %	%	4	1,5
8	Количество обслуживающего персонала	чел	1	1

Таблица 3. – Эксплуатационные затраты и общая экономия

Показатели	ММП 50/150		Предлагаемый		Общая экономия
	Удельные затраты, сом/т	Годовые затраты, сом	Удельные затраты, сом/т	Годовые затраты, сом	
Оплата труда	488,1	138518,6	430,7	122222,3	16296,3
Амортизационные отчисления	35,2	10000,0	35,2	10000	0
Техобслуживание и ремонт	51,1	14500,0	51,1	14500	0
Электроэнергия	98,6	27970,1	82,35	23370,74	4599,4
ИТОГО	673,0	190988,7	599,4	170093	20895,7

Таблица 4. – Годовой прибыль

	Требуемая продукция в год/ ц	Цена услуги	Стоимость продукции	Себестоимость	Годовой прибыль
ММП 50/150	2837,9	180	510822	190988,7	319833,3
Предлагаемый	2837,9	180	510822	170093	340729,0

Сравнительная экономическая эффективность

$$\mathcal{E}_{cp} = \mathcal{Z}_\sigma - \mathcal{Z}_n \quad (21)$$

где \mathcal{Z}_n , \mathcal{Z}_σ – эксплуатационные затраты при использовании по новому и базовому технике, соответственно, сом.

Срок окупаемости общих капитальных вложений определяется по формуле:

$$T_o = \frac{K_o}{\mathcal{E}_{cp}} \quad (22)$$

где K_o – сумма капитальных вложений, сом

При расчетах выявлена сравнительная экономическая эффективность $\mathcal{E}_{cp} = 20896$ сом, срок окупаемости $T_o = 4,8$ лет

ВЫВОДЫ

1. Анализ и оценка существующих измельчающих машин зерна показал, что машины с ударными рабочими органами и вальцовые машины не отвечают зоотехническим требованиям, так как пылевидные частицы (переизмельченные частицы размером менее 0,2 мм) в корме достигает до 15%, которые отрицательно влияют на пищеварение животных и затрудняют проведение последующих операций (смешивание, гранулирование). Поэтому выявлена целесообразность применения жерновых мельниц для измельчения зерна в корм. Однако недостатком жерновых мельниц является большое выделение тепла и влаги в процессе измельчения зерна, в результате чего снижается качество продукта и производительность машины.

2. Для обоснования основных технологических параметров (производительность, энергоемкость и параметры привода) разрабатываемых жерновых машин создана динамическую модель, позволяющую определить работу, затрачиваемую на размол зерна и моменты сопротивления, возникающие на рабочем органе при различных режимах работы.

3. Исследованы и моделированы процессы охлаждения и распределения воздушного потока внутри рабочей зоны жерновой

мельницы. Увеличение подачи воздуха положительно влияет на производительность мини мельницы. Производительность машины за счет уменьшения потери зерна от сгорания увеличивается до 20 кг/час. Для исследования аэродинамики рабочего органа жерновой мини-мельницы были созданы 3D модели с помощью программного комплекса SolidWorks. В качестве объекта моделирования воздушного потока внутри рабочего органа был выбран интегрированный расчетный модуль SolidWorks Flow Simulation, который предназначен для решения задач гидрогазодинамики и теплопередачи.

4. Экспериментально подтверждено:

а) исследованиями установлено, что при одинаковых подачах пшеницы по мере увеличения значения расхода воздуха, выход муки увеличивается и улучшается качество муки, поэтому для улучшения качества продукции и повышения производительности мельницы, просверливали пять сквозных отверстий на неподвижной жернове, одно в центре круга жернова и четыре на осях координат под углом 90°. Получены патенты на изобретения №1830, №1860;

б) Определен оптимальный диаметр для центрального отверстия 64 мм, для дополнительных отверстий 25 мм;

в) Для жернова определены оптимальные количество, форма и размеры бороздок для своевременного выхода готового продукта.

5. Анализ экономической эффективности использования предлагаемой мини мельницы показывает, что за счет снижения эксплуатационных затрат, расхода энергии расчетная годовая экономия от применения измельчителя новой конструкции по сравнению с прототипом составляет 21 тыс. сомов.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. **Карасартов, У.Э.** О выборе технологии и рациональной конструкции рабочего органа измельчения [Текст] / У.Э. Карасартов // Вестник КАУ. – Бишкек, 2009. – №5. – С. 228–230.

2. **Карасартов, У.Э.** К созданию конструкции жерновой мельницы [Текст] / У.Э. Карасартов // Вестник КНАУ.– Бишкек, 2016. - №4. - С 71-76.

3. **Карасартов, У.Э.** К обоснованию выбора параметров шнекового механизма жерновой мельницы [Текст] / У.Э. Карасартов, Ы.Дж. Осмонов // Вестник КНАУ. – Бишкек, 2018. - №2. - С.350-352.

4. **Карасартов, У.Э.** Обоснование основных параметров универсального станка жерновой мельницы [Текст] / У.Э. Карасартов //

Вестник Алтайского государственного аграрного университета. - Барнаул, 2018. - № 12. - С. 107-111.

5. **Карасартов, У.Э.** Технологические параметры жерновых камней для мельницы [Текст] / У.Э. Карасартов, Ы.Дж. Осмонов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – Барнаул, 2020. – С. 162–172.

6. **Карасартов, У.Э.** Технологический расчет шнекового механизма универсального станка ММП-150/50 [Текст] / У.Э. Карасартов // Научные исследования в Кыргызской Республике. – Бишкек, 2020. –№4 Часть I. С. 10-16.

7. **Патент 1830** Кыргызская Республика, МПК В02С7/00, В02С13/00 Жерновая мельница [Текст] / Т.О. Орозалиев, У.Э. Карасартов, Э.С. Абдраимов – № 20140139.1; заявл. 30.12.14; опубл. 31.03.16, бюлл. №3. – 4 с.: ил.

8. **Патент 1860** Кыргызская Республика, МПК В02С7/00, В02С13/00 Жерновая мельница [Текст]/ Т.О. Орозалиев, У.Э. Карасартов, М.С. Жуматаев [и др.]. – № 20150039.1; заявл. 01.04.15; опубл. 31.05.16, бюлл. №5 – 4 с.: ил.

Карасартов Урмат Эркинбековичтин 05.20.01 - айыл чарбасын механикалаштыруунун технологиялары жана каражаттары адистиги боюнча техника илимдеринин кандидаты илимий даражасына талапкердик “Дан азыктарын кайра иштетүүчү машинанын негизги параметрлерин иштеп чыгуу жана негиздөө” темасындагы диссертациясынын

РЕЗЮМЕСИ

Өзөктүү сөздөр: майдалагыч, аспирациялоо, жаргылчак таш, таш тегирмен, кичи-тегирмен, шнек, желдеткич, муздатуучу аба.

Изилдөө объектиси жана предмети. Изилдөөнүн объектиси – дан азыктарын майдалоочу көп функционалдуу чакан машина.

Тегирмен таштарынын жумушчу беттеринин параметрлери жана иштетилип жаткан материалдардын ийкемдүү-илээшкек касиеттеринин майдалоо сапатына, майдалоо процессинин технологиялык жана энергетикалык көрсөткүчтөрүнө тийгизген таасиринин мыйзам ченемдүүлүктөрү.

Изилдөөнүн максаты: Дан азыктарын майдалоо жана унга майдалоо үчүн көп функциялуу, үнөмдүү жана чакан машинанын жаңы конструкциясын иштеп чыгуу жана анын негизги параметрлерин негиздөө.

Изилдөөнүн методдору: математикалык моделдөө жана эксперименталдык изилдөө методдору, статистикалык моделдөө, инженердик эсептөөлөр, компьютердик моделдөө.

Эмгектин илимий жаңылыгы:

- тегирмен ташынын жумушчу органынын жаңы конструкциясы: кыймылсыз жаргылчак ташынын бетиндеги беш өтмө көзөнөк түрүндө сунушталган жана борбордук көзөнөктөн башкасына атайын кыйгач учтуу басымга чыдамдуу түтүктөр орнотулган;

- вертикалдуу жумушчу органдуу таш тегирменинин муздатуу каналдарын эсептөө ыкмасы иштелип чыкты;

- тегирмендин жумушчу органын жана аны аба агымы менен муздатуу процессин компьютердик моделдештирүү иштелип чыкты;

- өндүрүмдүүлүктү жогорулатуу жана продукциянын сапатын жакшыртуу үчүн аспирация көзөнөктөрүнүн параметрлери негизделген;

Алынган натыйжалар: горизонталдык айлануу огу бар мини тегирмен иштелип чыкты, анда кыймылсыз жаргылчак ташына беш көзөнөк, бири жаргылчак ташынын борборуна жана төртөө 90° бурч сайын көзөлгөн, борбордук көзөнөктүн диаметри 64 мм, кошумча көзөнөктөр 25 мм болгон оптималдуу диаметрлери аныкталды, тегирмендин ташындагы жиктердин оптималдуу саны, формасы жана өлчөмдөрү аныкталган.

Колдонуу даражасы: фермердик чарбалар жана башка майда айыл чарба түзүмдөрү.

Колдонуу чөйрөсү: айыл чарба кооперативдери жана бириккен дыйкан чарбалары, агрардык университеттеринин окуу процесси.

РЕЗЮМЕ

диссертации Карасартова Урмата Эркинбековича на тему: «Разработка и обоснование основных параметров машины для переработки продуктов зерна» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.20.01 - технологии и средства механизации сельского хозяйства

Ключевые слова: измельчение, аспирация, жернов, жерновая мельница, мини-мельница, шнек, вентилятор, охлаждающий воздух.

Объект и предмет исследования: объектом исследований является многофункциональная малогабаритная машина для измельчения продуктов зерновых культур.

Закономерности влияния параметров рабочих поверхностей жерновов и упруго-вязких свойств обрабатываемых материалов на качества помола, технологические и энергетические показатели процесса измельчения.

Цель исследования: разработка новой конструкции экономичной и малогабаритной машины для измельчения и помола продуктов зерновых культур, обоснование ее основных параметров.

Методы исследования: математические методы моделирования, статистическое моделирование, методы экспериментальных исследований, инженерные расчеты, компьютерные моделирование.

Научная новизна работы:

- предложена новая конструкция неподвижного жернова с пятью сквозными отверстиями для охлаждения;
- разработана методика расчета охлаждающих каналов жерновой мельницы с вертикальным рабочим органом;
- разработаны компьютерные моделирование рабочего органа жерновой мельницы и процесса его охлаждения воздушным потоком;
- обоснованы параметры аспирационных отверстий для увеличения производительности и улучшения качества продукции.

Полученные результаты: разработана мельница с горизонтальной осью вращения в которой сделаны пять сквозных отверстий на неподвижном жернове, одно в центре круга жернова и четыре на осях координат под углом 90° , определен оптимальный диаметр для центрального отверстия 64 мм, дополнительные отверстия 25 мм, для жернова определены оптимальные количество, форма и размеры бороздок для своевременного выхода готового продукта.

Степень использования: результаты научно-исследовательской работы могут быть использованы в фермерских хозяйствах и других агроформированиях Кыргызской Республики а также в учебном процессе аграрных вузов.

Область применения: в сельскохозяйственных кооперативах и объединенных крестьянских хозяйствах, а также в учебном процессе аграрных вузов.

SUMMARY

Summary of the dissertation prepared by Karasartov Urmat Erkinbekovich on the topic: "Development and Verification of the Main Parameters of a Machine for Processing Grain Products" in support of candidature for a technical degree in specialty 05.20.01 - technologies and means of agricultural mechanization

Key Words: grinding, aspiration, millstone, millstone mill, mini-mill, screw, fan, cooling air.

Object and Subject of the Study: The study object is a multifunctional, small-sized machine for grinding cereal crops products.

The influence regularities of the millstones working surfaces parameters and the elastic-viscous properties of the processed materials on the quality of grinding, technological and energy indicators of the grinding process.

Purpose of the Study: Development of a new design of economical and small-sized machine for grinding and milling cereal products, and substantiation of its main parameters.

Study Methods: mathematical modeling methods, statistical modeling, experimental research methods, engineering calculations, computer modeling.

Scientific Novelty of the Study:

- A new design of the millstone working element is proposed in the form of five through holes on the stationary millstone, and in the holes, in addition to the central ones, pressure-resistant tubes with special oblique tips are installed;

- The method for calculating the cooling channels of a millstone mill with a vertical working element has been developed;

- Computer modeling of the working body of the millstone mill and the process of its cooling by air flow has been developed

- Substantiated parameters of aspiration holes to increase productivity and improve product quality.

Obtained Results: A mini-mill with a horizontal axis of rotation was developed, in which five through holes were made on a stationary millstone, one in the center of the millstone circle and four on the coordinate axes at an angle of 90°. The optimal hole diameter for the central hole is 64 mm, for the additional hole is 25 mm, for the millstone the optimal number, shape and size of grooves for the timely release of the finished product are determined.

Degree of Use: Farms and other small agricultural formations of the Kyrgyz Republic can use the research work results.

Application Area: In agricultural cooperatives and united peasant farms, as well as in the educational process of agricultural universities.