

**Наименование проекта:** ИРН №АР09259673 «Разработка интенсивного устройства для сушки, измельчения, перемешивания частиц кормовой муки из отходов животного происхождения».

**Актуальность:** как известно развитие сельскохозяйственных животных и птиц, а также пищевой мясомолочной продукции зависит от удовлетворения потребности сельскохозяйственных животных и птиц в питательных и биологически активных веществах. Одним из полноценных компонентов в комбикормах является кормовая мука животного происхождения. Особое значение в увеличении производства кормовой муки имеет использование непищевого сырья, ветеринарных конфискатов и т.п., образующих так называемые отходы. В производстве кормовой муки важнейшими процессами являются сушка, измельчение и перемешивание. Анализ сушильного оборудования на современном этапе позволяет констатировать, что эффективным средством интенсификации и повышения качества сушки является совмещение сушки с измельчением и перемешиванием в одном аппарате, что позволяет повысить скорость протекания тепло- и массообмена, сократить производственные издержки и получить высококачественные однородные корма из различных отходов животного происхождения. Кроме того, сочетание измельчения с перемешиванием и сушкой позволяет проводить достаточно глубокое обезвоживание материала и возможность смешивания нескольких компонентов, исключая предварительную сортировку сырья, но в ряде подобных установках имеются недостатки, что является весьма актуальным.

**Цель:** разработка, конструирование и внедрение интенсивного устройства для сушки, измельчения, перемешивания частиц кормовой муки из отходов животного происхождения.

**Ожидаемые результаты:** будет установлено до 7-10 основных факторов, влияющих на комбинированный процесс сушки с измельчением и перемешиванием при производстве кормовой муки животного происхождения. Будет разработана математическая модель процесса тепломассопереноса и сегрегации. Будет проведено экспериментальное исследование теплофизических и физико-механических свойств отходов и кормовой муки животного происхождения. Будут поданы заявки на получение патентов, включенных в базу данных Derwent Innovations Index (Web of Science, Clarivate Analytics). Будет разработана конструкторская документация на опытный образец устройства для сушки, измельчения, перемешивания частиц кормовой муки из отходов животного происхождения. Будет получен опытный образец устройства для сушки, измельчения, перемешивания частиц кормовой муки из отходов животного происхождения. Будут опубликованы результаты исследований в статьях и (или) обзорах в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в Science Citation Index Expanded базы Web of Science и (или) имеющих процентиль по CiteScore в базе Scopus не менее 35 (тридцати пяти), в статье или обзоре в рецензируемом научном издании, входящем в 1 (первый)

или 2 (второй) квартиль в базе Web of Science и (или) имеющем процентиль по CiteScore в базе Scopus не менее 65 (шестидесяти пяти), а также в статьях или обзорах в рецензируемом зарубежном или отечественном издании, рекомендованном КОКСНВО, книгах и монографии. Будет проведено испытание опытного образца устройства для сушки, измельчения, перемешивания частиц кормовой муки из отходов животного происхождения. Будет выработано с помощью сконструированного устройства для сушки, измельчения и перемешивания партии костной и мясокостной муки 1, 2, 3 сортов и проведено исследование на соответствие действующему ГОСТу 17536-82 «Мука кормовая животного происхождения». Будет заключено лицензионное соглашение по объекту интеллектуальной собственности. Будет разработана научно-техническая, конструкторская документация согласно требований единой системы технологической и конструкторской документации, действующих стандартов и нормативно-правовых документов для серийного изготовления и внедрения устройства для сушки, измельчения и перемешивания с исключением всевозможных рисков. Полученные результаты будут представлены на конференциях или семинарах (форумах).

**Достигнутые результаты:** выявлены факторы, влияющие на процесс сушки, измельчения и перемешивания. Определен круг основных и второстепенных факторов, влияющих на процесс сушки, измельчения и перемешивания. Это температура сушильного агента в рабочих зонах сушки, измельчения и перемешивания; скорость подачи сушильного агента в рабочие зоны сушки, измельчения и перемешивания; частота вращения ударных элементов для измельчения и лопастей (перьев) для перемешивания; разновидность загружаемого сырья в устройство для сушки, измельчения, перемешивания (размер, содержание влаги и жира, плотность и т.д.); длительность процессов; пассивные зоны; конструктивные параметры (конструкция ударных элементов и лопастей (перьев), количество ударных элементов и лопастей (перьев), отверстия в сменном решете и т.д.). Данные факторы являются важными и взаимосвязанными при работе устройства для сушки, измельчения, перемешивания. В части разработки математической модели записано дифференциальное уравнение тепломассопереноса в частных производных цилиндрических координатах, а также граничные и начальные условия. Показаны возможные пути решения приближенными методами полученных уравнений. Сделан обзор возможно спонтанно протекающего процесса сегрегации, когда происходит перераспределение состава костной массы по крупности и образуются неоднородные слои. Указаны пути технического преодоления процесса сегрегации. В результате серии экспериментов были получены данные теплопроводности шквары и кормовой костной муки, на основе которых были построены экспериментальные графики. Среднее значение теплопроводности по данным исследования составила для шквары  $\lambda_{шк.}=0,1100$  Вт/(м\*К), кормовой костной муки  $\lambda_{км.}=0,0830$  Вт/(м\*К) соответственно. Получены расчетные данные температурапроводности шквары

и кормовой костной муки. Среднее значение температуропроводности для шквары при плотности  $1000 \text{ кг/м}^3$  и удельной теплоемкости при температуре  $20^\circ\text{C}$  -  $583 \text{ Дж/(кг*К)}$  составила  $a_{\text{шк}}=18,6*10^8 \text{ м}^2/\text{с}$ . Среднее значение температуропроводности для кормовой костной муки при плотности  $880 \text{ кг/м}^3$  и удельной теплоемкости при температуре  $20^\circ\text{C}$  -  $1717 \text{ Дж/(кг*К)}$  составила  $a_{\text{ккм}}=5,5*10^8 \text{ м}^2/\text{с}$ . На основе полученных данных в зависимости  $a=f(\rho_n)$  и  $a=f(W)$  сделаны следующие выводы: при изменении насыпной плотности определяющее влияние на коэффициент температуропроводности шквары и кормовой костной муки оказывает объемная теплоемкость, а при изменении влажности - коэффициент теплопроводности. Установлено, что режим работы устройства для сушки, измельчения и перемешивания зависит от влагосодержания в перерабатываемом объекте. Выявлено, что при понижении влаги в перерабатываемом объекте снижается коэффициент теплопроводности и следовательно следует повышать температуру нагрева до  $t=120-250 \text{ }^\circ\text{C}$  в зависимости от длительности сушки. Экспериментально получена зависимость реологических свойств отходного сырья животного происхождения от длительности времени и температуры, влажности. Исходя из аксиом и гипотез выявлено, что длительность сушки также зависит от площади вновь образованной поверхности в перерабатываемом объекте и степени измельчения, стремящейся к увеличению  $i=4-7$ . По результатам проведенных исследований поданы заявки на изобретения в Национальный институт интеллектуальной собственности Республики Казахстан и в Евразийское патентное ведомство.

Разработан общий вид конструктивно-технологической схемы устройства для сушки, измельчения и перемешивания (в том числе выполнена аксонометрия устройства). Подготовлены технические требования к устройству для сушки, измельчения и перемешивания (экспериментальный образец). При разработке конструкторской документации применена программа Компас-3D с осуществлением необходимых расчетов. Разработаны конфигурации 3D модели вала ротора, 3D модели корпуса, 3D модели ударных элементов, 3D модели шнека (витков (перьев) на валу), 3D модели сборки шнека в нижней части корпуса, 3D модели перьев (витков). Выполнен эскиз устройства для сушки, измельчения и перемешивания, и эскиз его кинематической схемы. Выполнены эскизы шнека, корпуса устройства, трубы, вала шнека, вала ротора, крышек, ударных элементов, витков (перьев), рамы, фланцев для шнека и ротора, цапф. Выполнены рабочие чертежи корпуса, шнека, вала шнека, вала ротора, ударных элементов, витков (перьев), цапф, фланцев, ножей, рамы, фланцев для шнека и ротора, цапф. Выполнены сборочные чертежи и общий вид ударных элементов, шнека, устройства для сушки, измельчения и перемешивания. На рабочих и сборочных чертежах приведено минимальное число размеров, достаточных для изготовления и контроля деталей и узлов. Указаны функциональные, свободные и справочные размеры. На чертежах указаны предельные отклонения линейных размеров, геометрической формы, а также погрешности в

относительном расположении осей, поверхностей и конструктивных элементов деталей с целью устранения вредного влияния на работоспособность деталей, вызывая динамические нагрузки, вибрации, шум, заклинивание или интерференцию. Для изготовления устройства для сушки, измельчения и перемешивания подобраны и приобретены конструкционные и расходные материалы, комплектующие. На основании разработанной кинематической схемы, конструкторской документации, проведенных расчетов по объему загружаемой массы сырья, теоретических исследований и необходимых технико-экономических расчетов, с применением знаний и навыков членов исследовательской группы, квалифицированных специалистов и мастеров, с использованием металлорежущих станков и инструментов, сварочных аппаратов, приборов и оборудования, конструкционных и расходных материалов, комплектующих, измерительных принадлежностей, изготовлена конструкция устройства для сушки, измельчения и перемешивания. Устройство для сушки, измельчения и перемешивания состоит из корпуса, патрубка для подачи сырья, патрубка для подвода сушильного агента, выходного окна, горизонтально расположенного вращающегося спиралевидного шнека с гребневыми ножами, вращающихся рабочих пальцев, выходного трубчатого воздуховода. При механической обработке деталей осуществлялся расчет коэффициента использования материалов. Произведены расчеты витков (перьев) шнека, геометрический расчет подбора диаметра шнека, подбора шага витков (перьев) и их количества, расчет вала, расчет общеустановочных размеров, расчет ударных элементов. Выполнен подбор рамы. Типовые расчеты проводили с помощью встроенных инструментов в программе прикладных библиотек Компас 3D. Стенки корпуса изготавливались из листового стального материала толщиной 4, 5 мм и соединялись сварочными швами. Рама изготавливалась с использованием швеллера (размер 16). Шнек изготавливался из трубы диаметром 102 мм, витков (перьев) диаметром 300 мм, ножей, цапф. Витки (перья) заваривались на валу (трубе), при этом на витках (перьях) приваривались ножи. Крепление шнека в корпус обеспечивается посредством цапф и фланцев в стенки корпуса болтами, шайбами и гайками. Для вращения шнека используются 2 закрытых подшипника 62132RS, цепная передача и цилиндрический мотор-редуктор мощностью 3 кВт. В верхней части конструкции предусмотрен вал ротора, закрепляющийся с помощью фланцев, болтов, шайб, гаек, и вращающийся посредством 2 закрытых подшипников ГОСТ 107 и червячного мотор-редуктора мощностью 1,5 кВт. В конструкции предусмотрены загрузочное и выгрузочное окна для сырья и кормовой смеси, отверстие для подвода сушильного агента из тепловой пушки, ударные элементы, отверстие и труба для удаления влажного воздуха. По плану опубликована статья «Development Of Mathematical Description Of Mechanical Characteristics Of Integrated Multi-Motor Electrical Drive For Drying Plant» (авторы Sultanbek Issenov, Ruslan Iskakov, Kazhybek Tergemes, Zhanat Issenov) в журнале Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, (2022), 1/8(115), 46-

54. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.251232> (SCOPUS per.56). Опубликовано статья «Obtaining a formula describing the interaction of fine particles with an expanding gas flow in a fluid layer» (авторы Yessenbay Alpeissov, Ruslan Iskakov, Sultanbek Issenov, Aru Ukenova) в журнале Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, (2022), 2/1(116), 87-97. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.255258> (SCOPUS per.56). Получен патент № 7276, опубл. 08.07.2022 г. МЮ РК НИИС на полезную модель «Устройство для производства кормовой муки животного происхождения» (автор Искаков Р.М.). Получен патент № 7050, опубл. 29.04.2022 г. МЮ РК НИИС на полезную модель «Ударно-раскалывающий молоток для измельчения» (автор Искаков Р.М.). Опубликовано статья «Анализ смесительного оборудования с учетом сегрегации кормосмеси и ее однородностью» в издательстве Карагандинского технического университета, республиканский журнал «Труды университета», 3(88) 2022. – С. 53-60 (КОКСНВО) (авторы Искаков Р.М., Исенов С.С., Әбілжанұлы Т., Кубентаева Г.К., Қасым Р.Т.). Технические решения апробированы на международной научно-практической конференции «Сейфуллинские чтения-18(2)» «Наука XXI века – эпоха трансформации» и опубликованы в виде тезиса «Технические устройства для измельчения отходов животного происхождения» (автор Искаков Р.М.), 1 т., 1 ч., 2022. - С.218-219. Получен патент на изобретение № 35954 «Устройство для сушки, измельчения и перемешивания частиц кормовой муки из отходов животного происхождения», опубл. 25.11.2022 г. МЮ РК НИИС (авторы Искаков Р.М., Исенов С.С., Кубентаева Г.К., Заичко Г.А., Альпеисов Е.А.). Получен патент на изобретение № 35955 «Молоток для дробления и измельчения», опубл. 25.11.2022 г. МЮ РК НИИС (авторы Искаков Р.М., Исенов С.С., Заичко Г.А.). Получен патент на изобретение № 35956 «Молоток для измельчения», опубл. 25.11.2022 г. МЮ РК НИИС (авторы Искаков Р.М., Кубентаева Г.К., Исенов С.С., Заичко Г.А.).

Осуществлена автоматизация управления оборудованием экспериментальной установки (устройства для сушки, измельчения, перемешивания частиц кормовой муки из отходов животного происхождения). В частности произведена установка шр подключения двух мотор-редукторов и одного электродвигателя дробилки, подключение тепловой пушки, установка и настройка частотного преобразователя, автоматизация всего оборудования через внешние кнопочные посты. Для автоматического управления экспериментальной установкой собран и установлен шкаф управления. Проведены испытания экспериментальной установки на холостом и рабочем ходу. Во время экспериментальных работ использовался тепловизор InfiRAY C210 с разрешением 256x192 пикселя для высокотемпературного измерения тепловых процессов; универсальный влагомер с выносным щупом AMF038 для измерения влажности в сырье и кормовой муке. Эффективность работы нагрева теплопередающей среды при сушке происходит за счет нагревателей и зачастую зависит от режима нагрева, времени теплоотдачи, конфигурации

конструкции нагревателя, теплового контакта активной зоны с нагреваемой газовой средой путем конвекции, теплопроводности и излучения, нагревательных элементов и их мощности. Предложена классификация конструкций рабочих поверхностей ударных элементов для измельчения. Произведена выработка кормовой муки на экспериментальном устройстве для сушки, измельчения и перемешивания. Разработан способ производства кормовой муки. Проведены экспериментальные исследования по разработанному устройству для сушки, измельчения, перемешивания с целью обоснования технологических процессов разравнивания слоя, перемешивания и сушки кормовых материалов. Для проверки достоверности теоретических исследований проведены опыты на разработанном устройстве для сушки, измельчения, перемешивания частиц кормовой муки. Результаты экспериментального определения потребной мощности показали значение  $N_э=0,273$  кВт, а теоретическое значение потребной мощности -  $N_т=0,286$  кВт, т.е. разница между теоретическим и действительным значением составляет 4,76%. Это доказывает достоверность полученного аналитического выражения, обеспечивающего определение основного параметра устройства для сушки, измельчения, перемешивания, т.е. потребную мощность. Выведено аналитическое выражение для определения потребной мощности на процесс разравнивания слоя кормовой массы, куда входят все конструктивные и кинематические параметры разработанного устройства для сушки, измельчения, перемешивания. В результате обработки опытных данных получены уравнения изменения влажности различной кормовой массы в зависимости от длительности сушки, а также получены скорости изменения влажности частиц кормовой муки животного происхождения. В результате обработки опытных данных получена математическая модель процесса сушки частиц кормовой муки из отходов животного происхождения, т.е. получена модель интенсивного тепломассопереноса за счет конвективной сушки, шнекового и пальцевого перемешивания и одновременного измельчения. Для проведения испытаний показателей безопасности кормовой муки животного происхождения, выработанной с применением экспериментального устройства для сушки, измельчения и перемешивания были исследованы пробы кормовой муки животного происхождения в испытательном центре АО «Восточно-Казахстанский мукомольно-комбикормовый комбинат». В результате проведенных исследований были получены протоколы испытаний на внешний вид, запах, массовую долю влаги, массовую долю золы, массовую долю протеина, токсичность, наличие патогенных микроорганизмов, общее количество микробов, бактерии группы кишечной палочки, бактерии рода сальмонелл, бактерии анаэробы проб кормовой муки животного происхождения. Результаты фактических значений соответствуют нормам. Проведен лабораторный анализ выработанной кормовой муки животного происхождения в лаборатории технического факультета. Результаты исследования проб костной кормовой муки при перемешивании с контрольным

компонентом показали однородность перемешивания порядка 90,8%. В процессе проведения исследований проведен ситовый анализ измельченных частиц кормовой муки с применением сит различного диаметра. В пробах содержание частиц размером более 3 мм не обнаружено, и менее 2 мм не обнаружено. Данные результаты являются соответствующими ГОСТу 17536-82 «Мука кормовая животного происхождения», т.е. размер измельченных частиц соответствует 2-3 мм. Определение влаги в пробах выработанной кормовой муки животного происхождения производили влагомером и в сушильном шкафу. Содержание влаги в пробах кормовой муки составило не более 10%, что соответствует требованиям стандарта. Получен Евразийский патент на изобретение №042280 «Устройство для сушки, измельчения и перемешивания частиц кормовой муки из отходов животного происхождения», опубл. 31.01.2023 г., бюл.1 (авторы Искаков Р.М., Исенов С.С., Кубентаева Г.К., Заичко Г.А., Альпеисов Е.А.). Опубликована статья «Характерные особенности элекронагрева теплопередающей среды конвективной сушилки» (авторы Искаков Р.М., Кубентаева Г.К., Касым Р.Т., Акаев А.М.) в журнале «Вестник Павлодарского государственного университета имени С.Торайгырова», энергетическая серия, № 3(2022) – С. 98-109 (КОКСНВО). Опубликована статья «Исследование теплофизических свойств кормовой муки животного происхождения и шквары для проведения процесса сушки» (авторы Искаков Р.М., Исенов С.С., Мергалимова А.К., Мамырбаева И.А., Ыбрай С.) в журнале «Вестник Павлодарского государственного университета имени С.Торайгырова», энергетическая серия, № 1(2023) – С. 145-166 (КОКСНВО). Опубликована статья «Technologies for the Rational Use of Animal Waste: A Review» (авторы Iskakov R., Sugirbay A.) в журнале Sustainability (MDPI, Швейцария), 2023, 15(3), 2278: <https://doi.org/10.3390/su15032278>, (SCOPUS per.87, Web of Science Core Collection Q2). Опубликована статья «Determination of the Average Size of Preliminary Grinded Wet Feed Particles in Hammer Grinders» (авторы Iskakov R., Abilzhanuly T., Abilzhanov D., Darkhan, O.) в журнале Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, (2023), 1(121), 34–43. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.268519> (SCOPUS per.47). Опубликована статья «Impact elements of feed grinder: a review» (авторы Iskakov R., Issenov S., Kubentaeva, G.) в журнале EUREKA: Physics and Engineering, 2023, (2), 121-148. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2023.002820> (SCOPUS per.45). Получен патент № 36486 на изобретение «Устройство для сушки, измельчения и перемешивания частиц кормовой муки» (рег. номер заявки 2022/0540.1 от 07.09.2022, авторы Искаков Р.М., Әбілжанұлы Т., Кубентаева Г.К., Исенов С.С.). Опубликована статья «Development of a Layer Leveling Technology that Reduces the Energy Intensity of the Processes of Mixing and Drying the Fodder Mass» (авторы Abilzhanuly, T., Iskakov, R., Issenov, S., Kubentaeva, G., Мамырбайева, I., Abilzhanov, D., Khaimuldinova, A., Khamitov, N.) в журнале Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, (2023), 4(7 (124), 106–115. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.286325> (SCOPUS per.47, CiteScore 2022,

2.1). Опубликовано монография «Сушка с измельчением и перемешиванием коллоидных капиллярно-пористых материалов» в отечественном издательстве «ADAL KITAP», Алматы, 2023. - 160 с. (авторы Мергалимова А.К., Искаков Р.М., Исенов С.С., Альпеисов Е.А., Әбілжанұлы Т.). Опубликовано книга «Сушка кормов» в зарубежном издательстве «Бук», Казань, 2023. - 138 с. (авторы Искаков Р.М., Усербаев М.Т., Абилжанулы Т., Кубентаева Г.К., Мергалимова А.К.). Опубликовано книга «Үрдістер мен аппараттар (Процессы и аппараты)» в отечественном издательстве «ADAL KITAP», Алматы, 2023. - 160 с. (авторы Искаков Р.М., Усербаев М.Т., Әбілжанұлы Т., Кубентаева Г.К., Укенова А.Ж.). Оформлен и одобрен заключительный отчет всего проекта.

**Члены исследовательской группы:**

Руслан Маратбекович Искаков - кандидат технических наук, ассоциированный профессор (доцент), руководитель проекта

(Scopus Author ID: 55965285900, Researcher ID: P-7436-2017, <https://orcid.org/0000-0002-5948-2636>, <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55965285900>; <https://publons.com/researcher/2045750/ruslan-maratbekovic-m-iskakov/>; <https://orcid.org/0000-0002-5948-2636>);

Тоқтар Әбілжанұлы - доктор технических наук, профессор, научный сотрудник

(Scopus Author ID: 57193110431, <https://orcid.org/0000-0002-9513-1702>, <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57193110431>; <https://orcid.org/0000-0002-9513-1702>);

Султанбек Сансызбаевич Исенов - кандидат технических наук, ассоциированный профессор (доцент), научный сотрудник;

(<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55565980900>, <https://publons.com/researcher/1933590/sultanbek-s-issenov/>);

Гульмира Кусаиновна Кубентаева - кандидат технических наук, инженер-конструктор;

Индира Кабдракымовна Мамырбаева - кандидат физико-математических наук, научный сотрудник;

Алмагуль Каирбергеновна Мергалимова - доктор философии (PhD), младший научный сотрудник

(Scopus Author ID: 57202363283, <https://orcid.org/0000-0002-5990-8182>);

Арман Базарханович Рустембаев - доктор философии (PhD), младший научный сотрудник

(Scopus Author ID: 57205647876, <https://orcid.org/0000-0002-1250-8034>);

Сұлтан Барлымбайұлы Ыбрай - магистр технических наук, лаборант

**Информация для потенциальных пользователей:** целевыми потребителями результатов проекта являются мясо- и птицеперерабатывающие предприятия, фермерские и животноводческие хозяйства, кормоприготовительные цеха. Ожидается, что сельскохозяйственные животные и птицы получат необходимое количество высокопитательных белковых



кормов, что благополучно скажется и на продукции животноводства (молоко, мясо и др.) и птицеводства (яйца, мясо, бульон и др.).

**Дополнительная информация:** будет получен высокий социальный и экологический эффект.