

Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің Ғылым жаршысы (пәнаралық) =Вестник науки Казахского агротехнического исследовательского университета имени Сакена Сейфуллина (междисциплинарный). – Астана: С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 2024. -№ 3 (122). - С. 55-63. - ISSN 2710-3757, ISSN 2079-939X

[doi.org/ 10.51452/kazatu.2024.3\(122\).1747](https://doi.org/10.51452/kazatu.2024.3(122).1747)

УДК 631.363

## Исследование высушивания кормов в комбинированном измельчающе-сушильном и перемешивающем устройстве

Искаков Р.М.<sup>1</sup> , Абилжанулы Т.<sup>2</sup> , Гуляренко А.А.<sup>1</sup> , Хан В.А.<sup>1</sup> , Ремшев Е.Ю.<sup>3</sup> 

<sup>1</sup>Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина,  
Астана, Казахстан

<sup>2</sup>Научно-производственный центр агроинженерии, Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>Балтийский государственный технический университет имени Д.Ф. Устинова,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Автор-корреспондент:** Р.М. Искаков: [rus.iskakov79@mail.ru](mailto:rus.iskakov79@mail.ru)

**Соавторы:** (1: ТА) [abilzhanuly.kazniimesh@mail.ru](mailto:abilzhanuly.kazniimesh@mail.ru); (2: АГ) [gulyarenko@mail.ru](mailto:gulyarenko@mail.ru)  
(3: ВХ) [montxan@mail.ru](mailto:montxan@mail.ru); (4: ЕР) [Remshev@mail.ru](mailto:Remshev@mail.ru)

**Получено:** 05-08-2024 **Принято:** 12-09-2024 **Опубликовано:** 30-09-2024

### Аннотация

**Предпосылка и цель.** При работе кормоприготовительного оборудования встречаются такие проблемы как громоздкость и повышенные расходы, что увеличивает себестоимость кормов. Актуальным является проведение исследований комбинированных аппаратов с проведением нескольких технологических процессов в одном аппарате с применением шнека и разравнивающего устройства. Разравнивающее устройство перемещает поднимаемую кормовую массу к торцевым стенкам бункера. При работе пальцев разравнивающего устройства обеспечивается устранение чрезмерно высокого подъема кормовой массы и ускорение процесса перемешивания за счет равномерного перемещения кормовой массы по всей ширине бункера. Ускорение процесса сушки влажных кормов объясняется тем, что под горячий воздух все время попадают новые порции влажных кормов.

**Материалы и методы.** Для проведения исследований процесса сушки использовалось разработанное измельчающе-сушильное и перемешивающее устройство. Объектом сушки послужили яичная скорлупа и отходы желтка куриных яиц, а также рыбное костное сырье. При проведении экспериментальных исследований применены метод проведения однофакторных экспериментальных исследований и контрольно-измерительные приборы.

**Результаты.** В результате экспериментальных исследований и обработки опытных данных получена математическая модель процесса сушки частиц кормовой муки, т.е. получена модель интенсивного теплопереноса за счет конвективной сушки, шнеково-пальцевого перемешивания и одновременного измельчения в комбинированном измельчающе-сушильном и перемешивающем устройстве.

**Заключение.** Разработанная конструктивно-технологическая схема комбинированного измельчающе-сушильного и перемешивающего устройства обеспечивает устойчивое выполнение процессов измельчения, сушки и перемешивания кормов. Оригинальность технического решения подтверждается выдачей патента Республики Казахстан на изобретение № 36486.

**Ключевые слова:** измельчение; кормовая масса; перемешивание; сушка теплоперенос.

## **Введение**

Приготовление кормов животного происхождения является необходимостью для сельскохозяйственных животных и птиц, от которых в свою очередь население получает мясо-молочную и яичную пищевую продукцию [1]. При приготовлении кормовой муки животного происхождения основными процессами являются измельчение [2], перемешивание [3] и сушка кормов [4]. Немаловажным при этом является разработка нового усовершенствованного оборудования и рабочих органов с высокими технико-экономическими характеристиками [5]. Следует учитывать, что разрушение частиц кормовой муки до размеров 2-3 мм благоприятно сказывается на кормлении сельскохозяйственных животных и птиц [6]. Получение кормов с таким гранулометрическим размером соответствует по классификации мелкому измельчению и зачастую проводится в нескольких технологических аппаратах с предварительным дроблением и окончательным измельчением [7]. При этом использование нескольких технологических аппаратов является громоздким, требующим больших вложений, повышенных расходов, что увеличивает себестоимость и стоимость кормов. Значительное внимание при приготовлении, а также заготовке кормов уделяется конструктивно-технологическим параметрам сельскохозяйственной техники [8], особенно разработке и обоснованию конструкций аппаратов и устройств. Поэтому актуальным является разработка конструктивно-технологической схемы аппарата и рабочих органов, способствующих осуществлению процессов измельчения, сушки и смешивания [9] в одном аппарате. В этом аспекте наиболее перспективным направлением исследований является разработка комбинированного измельчающе-сушильного и перемешивающего устройства, направленного на интенсивность проведения технологических процессов в одном кормоприготовительном аппарате.

## **Материалы и методы**

При приготовлении кормов требуется обязательное проведение измельчения частиц до требуемого размера, их сушка для последующего их сохранения и перемешивание различного кормового сырья для повышения их однородности, что в целом сказывается на качествеготавливаемых кормов. Для этого использовали сконструированное комбинированное измельчающе-сушильное и перемешивающее устройство. При проведении экспериментальных исследований применён метод проведения однофакторных экспериментальных исследований. Экспериментирование сконструированного устройства проводили в подразделениях Казахского агротехнического исследовательского университета имени С.Сейфуллина. Применены методы испытаний сельскохозяйственных машин. Эксперименты проводились с трехкратной повторностью. В устройство для измельчения, смешивания и сушки загружали яичную скорлупу, отходы желтка куриных яиц массой 120 кг, влажностью 39,5%, размером 10-30 мм. Отдельно загружали скорлупу влажностью 20%, отходы желтка с остатками скорлупы влажностью 70%, рыбное костное сырье влажностью 45%. Измерение температуры проводили тепловизором InfiRAY C210. Влажность кормового сырья и кормов определяли влагомером AMF038. Для измерения веса использовались электронные весы AS 220/R2.

## **Результаты и обсуждение**

Для получения кормов из различных отходов разработано комбинированное измельчающе-сушильное и перемешивающее устройство (рисунок 1), где на рисунке 1а – в аксонометрии изображено устройство для измельчения, сушки и перемешивания частиц кормовой муки; на рисунке 1б – вид спереди; на рисунке 1в – вид сбоку.

Измельчающе-сушильное и перемешивающее устройство может работать с функцией только разрушения (резания, раздавливания) следующим образом. Отходное сырье, например, скорлупа подается в патрубок 2 для подачи сырья. Куски сырья измельчаются с помощью вращающихся рабочих дисков 7 с ударными элементами 10, гребневых ножей 6 и отбойных элементов 8. С помощью горизонтально расположенного вращающегося спиралевидного шнека 5 с гребневыми ножами 6 происходит эффективное перемешивание и измельчение частиц кормовой муки. Оригинальность изобретения подтверждается патентом на изобретение № 36486 от 01.12.2023 г. [10].

В рабочем объеме устройства вдоль оси длины предусматривается вращающийся шнек, который меняет направление движения на противоположное, начиная с третьего витка. Над шнеком перпендикулярно располагается ударное устройство для раскалывания и разлома частиц кормовой массы, что позволяет дополнительно разрушать кормовой материал. Дополнительное соударение способствует интенсификации дробления. Режуще-раздавливающее измельчение кормовой массы происходит посредством ножей, установленных на концах витков шнека.

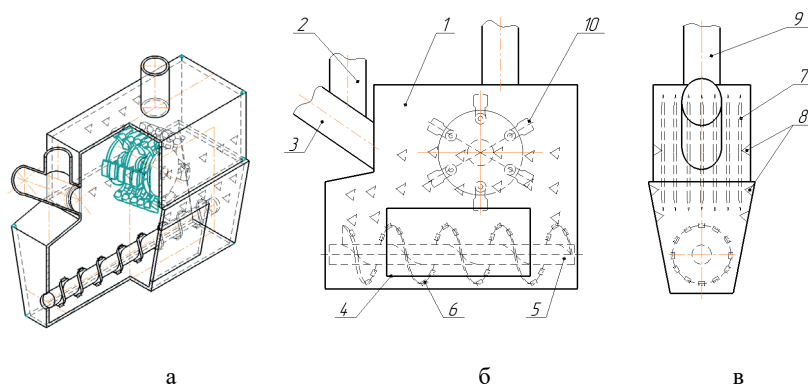


Рисунок 1 – Конструктивно-технологическая схема измельчающе-сушильного и перемешивающего устройства

1 – корпус; 2 – патрубок для подачи сырья; 3 – патрубок для агента сушки; 4 – патрубок для выхода частиц кормовой муки; 5 – горизонтально расположенный вращающийся спиралевидный шнек; 6 – гребневые ножи; 7 – вращающиеся рабочие диски; 8 – отбойные элементы; 9 – воздуховод; 10 – ударные элементы

В начале поток частиц кормовой массы совершает винтообразное движение вдоль оси шнека слева направо, т.е. от стороны загрузки сырья. Поскольку объем устройства ограничен, положение обратного движения шнека справа налево, в итоге, получается под вращательное движение ударного устройства перпендикулярно оси шнека.

Ударное устройство, вращаясь в противоположных направлениях, перемещает поднимаемую кормовую массу к торцевым стенкам устройства. При этом изготовление ударного устройства в ротора намного проще, чем, например, изготовление шнека. Из конструктивно-технологической схемы известно, что при работе ударного устройства обеспечивается устранение чрезмерно высокого подъема кормовой массы и ускорение процесса измельчения. Кроме того, осуществляется равномерное перемещение кормовой массы по всей ширине устройства. Ударное устройство интенсифицирует процесс измельчения. Это объясняется тем, что под удары все время попадают новые порции кормовых частиц, а разрушение ножами горизонтального шнека и ударным устройством, установленными перпендикулярно друг к другу способствует активному соударению частиц кормовой массы. Ножи, установленные на конце витков, измельчают массу и устраняют забивание кормов. В конструкции измельчающе-сушильного и перемешивающего устройства впервые применяется разравнивающее устройство (пальцевый вал) в условиях теплопереноса, и поэтому оптимизация сушки кормовой массы является решением актуальной научной задачи.

В целом установка прошла испытания на холостом ходу и с выработкой кормов. Автоматическое управление экспериментальной установкой позволило осуществить эффективное и удобное управление установкой. Все пусковые механизмы сосредоточены в одном месте в шкафу управления. Действие приборов позволило варьировать частоту вращения шнека, реверсивное движение разравнивающего устройства с изменением вращения ротора по часовой стрелке и против часовой стрелки. Отдельное включение дробилки позволяет расширить применение различного ассортимента кормового сырья и представить установку, приближенной к отдельному кормоприготовительному аппарату. Наличие газовой либо электрической тепловой пушки позволяет нагревать сушильный агент до необходимых температур с изменением мощности теплового потока и автоматическим регулированием заданной температуры для сушки.

Опыты проводились нами на смешанном кормовом сырье (яичная скорлупа, отходы желтка куриных яиц с влажностью 39,5%, рыбное костное сырье с влажностью 45%). Одновременная загрузка сырья 120 кг. Процесс работы устройства выбран из-за того, что в процессе разравнивания и одновременной сушки слоя устраняется чрезмерно высокий подъем кормовой массы и интенсифицируется процесс перемешивания, а также ускоряется процесс сушки вновь поступающих порций влажных кормовых частиц под конвективно подаваемый горячий воздух.

В результате проведения экспериментальных исследований с помощью шнека с вращающимися ножами на витках получили измельченные частицы корма из яичной скорлупы с отходами желтка. На рисунке 2 представлены фотографии сырья (размер 10-30 мм) и готового корма (2-3 мм).



Рисунок 2 – Фотографии сырья – яичной скорлупы с отходами желтка и измельченного корма из яичной скорлупы с отходами желтка

В процессе проведения сушки с одновременным измельчением и перемешиванием рассматривали тепломассоперенос в виде математической модели, т.е. в виде изменения влажности (изменения массы) в процессе сушки (таблица 1). В таблице 1 приведены сведения о пробах кормовой муки, отобранных во время работы устройства для измельчения, сушки и перемешивания. Касательно экспериментов, проведение процесса сушки с начальной неравномерной влажностью кормовой массы 45% отразило длительность процесса сушки, равной 75 мин. При этом кормовая масса была высушена до влажности 10% (рисунок 3).

Обработка опытных данных по методу наименьших квадратов дала возможность получения эмпирического уравнения в таком виде

$$W_i = 45 - 0,467T_i \quad (1)$$

Таблица 1 – Содержание влаги в пробах кормовой муки животного происхождения, отобранных во время работы устройства для измельчения, сушки и перемешивания (t=130 °C, загрузка m=120 кг)

№	Время отбора пробы, мин.	Влажность сырья W, %	Содержание влаги в пробе кормов W, %
1.1	15	Скорлупа+отходы желтка (W=39,5%)	33
1.2	30		25
1.3	45		19
1.4	60		13
1.5	75		8,5
2.1	15	Отходы желтка+остатки скорлупы (W=70%)	64
2.2	30		55
2.3	45		46,1
2.4	60		37,6
2.5	75		28,5
2.6	90		20,5
2.7	105		15
2.8	120		10

Продолжение таблицы 1

3.1	15	Скорлупа (W=20%)	14
3.2	30		7,5
4.1	15	Рыбное костное сырье (W=45%)	38
4.2	30		32
4.3	45		24
4.4	60		16
4.5	75		10

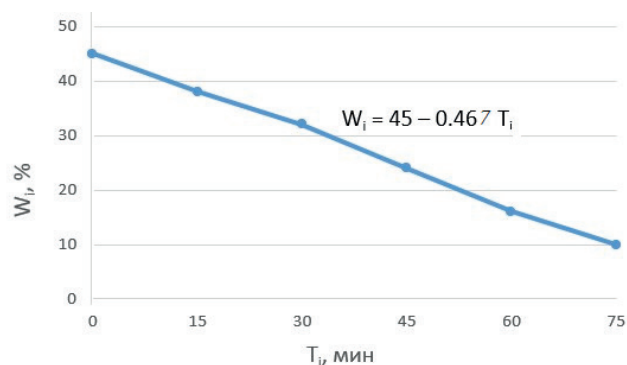


Рисунок 3 – График изменения влажности частиц рыбного костного сырья с влажностью 45% в зависимости от длительности сушки

Для определения скорости изменения влажности продифференцировали формулу (1)

$$\frac{dW_i}{dT_i} = (45 - 0,467T_i)^1 = -0,467\% / \text{мин}. \quad (2)$$

В процессе эксперимента была определена скорость изменения кормовой массы при различной первоначальной влажности. В данном случае проведены опыты по определению скорости изменения влажности при первоначальной влажности скорлупы вместе с отходами желтка, где первоначальная влажность кормовой массы была равна 39,5%. График изменения влажности в зависимости от длительности процесса сушки приведен на рисунке 4.

Анализ зависимостей показал, что на начальном этапе процесса сушки наблюдается более интенсивное изменение влажности, а в конце процесса сушки изменение влажности снижается и это видно из полученного уравнения, которое имеет член второго порядка.

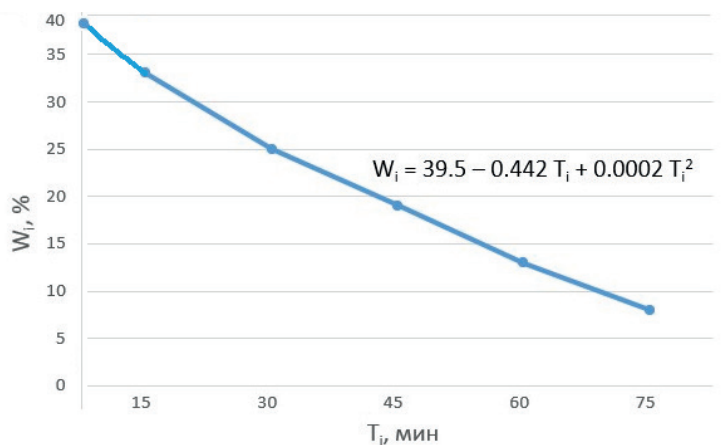


Рисунок 4 – График изменения влажности скорлупы с отходами желтка с влажностью 39,5% в зависимости от длительности процесса сушки



$$W_i = 39,5 - 0,442T_i + 0,0002T_i^2 \quad (3)$$

Здесь также дифференцируя полученное уравнение, определили скорость изменения влажности для данного кормового сырья по формуле

$$V_w = \frac{dW_i}{dT_i} = (39,5 - 0,442T_i + 0,0002T_i^2) = -0,442 + 0,0004T_i, \text{ процент / мин.} \quad (4)$$

В процессе эксперимента определено влияние длительности сушки на процесс изменения влажности при высокой первоначальной влажности кормового сырья. При этом первоначальная влажность скорлупы с большим содержанием остатков желтка была равна 70%, и график изменения влажности кормового сырья в зависимости от длительности сушки приведен на рисунке 5.

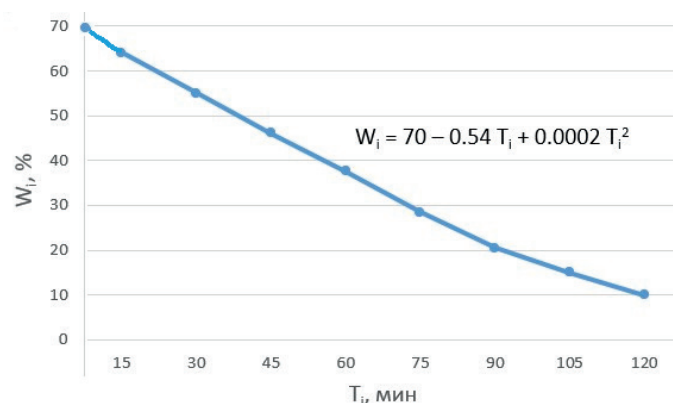


Рисунок 5 – График изменения влажности скорлупы с большим содержанием остатков желтка влажностью 70% в зависимости от длительности процесса сушки

Закономерность изменения процесса сушки от времени сушки описывается следующим уравнением

$$W_i = 70 - 0,54T_i + 0,0002T_i^2 \quad (5)$$

Дифференцируя полученное уравнение, определили скорость изменения влажности данного кормового сырья влажностью 70%, что описывается следующей формулой

$$V_w = \frac{dW_i}{dT_i} = (70 - 0,54T_i + 0,0002T_i^2) = -0,54 + 0,0004T_i, \text{ процент / мин.} \quad (6)$$

В результате обработки опытных данных получена математическая модель процесса сушки частиц кормовой муки из отходов животного происхождения, т.е. получена модель интенсивного теплопереноса за счет конвективной сушки, шнеково-пальцевого перемешивания и одновременного измельчения. При этом конструктивное исполнение рабочих органов для перемешивания обеспечивает высокую однородность перемешивания и способствует устранению сегрегации.

### Заключение

В результате исследований конструктивно-технологическая схема разработанного измельчающе-сушильного и перемешивающего устройства показала свою эффективность. Для снижения энергоемкости процесса перемешивания и сушки впервые в конструкциях устройств измельчения, сушки и перемешивания, установлено в верхней части горизонтального шнека

разравнивающее устройство в виде пальцевого вала. При этом устраняется чрезмерный подъем кормовой массы и под горячий воздух попадает все время новая порция влажной кормовой массы, что значительно интенсифицирует процесс сушки кормов. Оригинальность технического решения подтверждается выдачей патента РК на изобретение № 36486.

### **Вклад авторов**

РИ, ТА, ЕР: Концептуализировали и оформили исследование, провели всесторонний поиск литературы, проанализировали собранные данные и подготовили рукопись. АГ, ВХ: провели окончательную редакцию и вычитку рукописи. Все авторы прочитали, просмотрели и одобрили окончательную редакцию рукописи.

### **Благодарность**

Работа является результатом, полученным в ходе реализации проекта AP09259673 «Разработка интенсивного устройства для сушки, измельчения, перемешивания частиц кормовой муки из отходов животного происхождения», финансируемого в рамках грантового финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

### **Список литературы**

- 1 Лисицын, АБ, Кузнецова, ОА, Горбатов, СА, Ермаков, ЮП, Белозеров, ГА, Титов, ЕИ, Гушин, ВВ. (2021). История мясной промышленности России: монография. М.: ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова. 1, 252.
- 2 Iskakov, RM, Iskakova, AM, Nurushev, MZh, Khaimuldinova, AK, Karbayev, NK. (2021). Method for the Production of Fat from Raw Materials and Animal Waste. *Journal of pure and applied microbiology*, 15(2), 716-724.
- 3 Ульянов, ВМ, Утолин, ВВ, Полункин, АА, Гришков, ЕЕ. (2013). Шнеково-лопастной смеситель для приготовления кормов. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*, 6, 11-12.
- 4 Wang, W., Guohua, C., Mujumdar, AS. (2007). Physical Interpretation of Solids Drying: An Overview on Mathematical Modeling Research. *Drying Technology*, 25, 4:659-668.
- 5 Iskakov, R., Sugirbay, A. (2023). Technologies for the Rational Use of Animal Waste: A Review. *Sustainability*, 15(3), 2278. DOI: doi.org/10.3390/su15032278.
- 6 Межгосударственный стандарт. ГОСТ 17536-82. Мука кормовая животного происхождения. Технические условия. (1983). М.: Госкомитет СССР по стандартизации: Изд.-во стандартов, 5.
- 7 Iskakov, RM, Mamirbaeva, IK, Gulyarenko, AA, Silaev, MY, Gusev, AS. (2022). Improved Hammers for Crushers in Feed Production. *Russian Engineering Research*, 42(10), 987–992. DOI: 10.3103/s1068798x22100124.
- 8 Әбілжанұлы, Т., Абиьжанов, ДТ, Хамитов, НМ, Искаков, РМ, Оразахин, Д., Найдено, Е. (2023). Обоснование скорости ножа и лопатки в зависимости от дальности выбрасываемой массы через дефлектор кормоуборочного комбайна. «*Ізденістер, нәтижелер - Исследования, результаты*», 3(99), 345-355.
- 9 Кафаров, ВВ, Дорохов, ИН, Арутюнов, СЮ. (2018). Системный анализ процессов химической технологии: измельчение и смешение: монография. М.: Издательство Юрайт. 2-е изд., 440.
- 10 Устройство для сушки, измельчения и перемешивания частиц кормовой муки. (2023). Патент на изобретение № 36486 РК. Абиьжанұлы Т., Искаков Р.М., Кубентаева Г.К., Исенов С.С.; заявитель и патентообладатель Казахский агротехнический исследовательский университет имени Сакена Сейфуллина заявл. 07.09.2022; опубл. 01.12.02023. Бюл. № 48.

## References

- 1 Lisitsyn, AB, Kuznetsova, OA, Gorbatov, SA, Ermakov, Yu, P., Belozero, GA, Titov, EI, Gushchin, VV. (2021). Istoriya myasnoy promyshlennosti Rossii: monografiya. M.: FNTS pishchevy effectem im. V.M. Gorbatova. 1, 25.
- 2 Iskakov, RM, Iskakova, AM, Nurushev, MZh, Khaimuldinova, AK, Karbayev, NK. 2021. Method for the Production of Fat from Raw Materials and Animal Waste. *Journal of pure and applied microbiology*, 15(2), P. 716-724.
- 3 Ul'yanov, VM, Utolin, VV, Polunkin, AA, Grishkov, YY. (2013). Shnekovo-lopastnoy smesi'el' dlya prigotovleniya kormov. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya 'sel'skogo khozyaystva*, 6, 11 -12.
- 4 Wang, W., Guohua, C., Mujumdar, AS. (2007). Physical Interpretation of Solids Drying: An Overview on Mathematical Modeling Research. *Drying Technology*, 25, 4:659-668.
- 5 Iskakov, R., Sugirbay, A. (2023). Technologies for the Rational Use of Animal Waste: A Review. *Sustainability*, 15(3), 2278. DOI: doi.org/10.3390/su15032278.
- 6 Mezghosudarstvennyi standart. GOST 17536-82. Muka kormovaya zhivotnogo proishozhdeniya. Tehnicheskie usloviya. (1983). M.: Goskomitet SSSR po standartizacii: Izd.-vo standartov, 5.
- 7 Iskakov, RM, Mamirbaeva, IK, Gulyarenko, AA, Silaev, MY. Gusev, AS. (2022). Improved Hammers for Crushers in Feed Production. *Russian Engineering Research*, 42(10), 987–992. DOI: 10.3103/s1068798x22100124.
- 8 Abilzhanuly, T, Abil'zhanov, DT, Khamitov, NM, Iskakov, RM, Orazakhin, D., Naydenko, Y. (2023). Obosnovaniye skorosti nozha i lopatki v zavisimosti'ot dal'nosti vybrasyvayemoy massy effektorfektor kormoborochnogo kombayna. «*Izdenister, natizheler – Issledovaniya' rezul'taty*», 3, 345-355.
- 9 Kafarov, VV, Dorokhov, IN, Arutyunov, SY. (2018). Sistemnyi analiz protsessov khimicheskoy tekhnologii' izmel'cheniye i smesheniye: monografiya. M.: Izdatel'stvo –Yurayt. 2-ye izd., 440.
- 10 Ustrojstvo dlya sushki, izmel'cheniya i peremeshivaniya chastic kormovoi muki. (2023). Patent na izobretenie № 36486 RK. Abil'zhanuly T., Iskakov R.M., Kubentaeva G.K., Isenov S.S.; zajavitel' i patentoobladatel' Kazakhskiy agrotekhnicheskij issledovatel'skiy universitet imeni Sakena Seyfullina zajavl. 07.09.2022; opubl. 01.12.02023. Bҗul. № 48.

### Құрама ұнтақтау, ұнтақтау-кептіру және араластыру құрылғысында жемді кептіруді зерттеу

Ысқақов Р.М., Әбілжанұлы Т., Гуляренко А.А., Хан В.А., Ремшев Е.Ю.

#### Түйін

Негізі және мақсаты. Жем дайындауға арналған жабдықты пайдалану кезінде көлемділік және шығындардың өсуі сияқты мәселелер кездеседі, бұл жемнің құнын арттырады. Бір құрылғыда бұранда мен нивелирлеу құрылғысының көмегімен жүзеге асырылатын бірнеше технологиялық процестері бар біріктірілген құрылғыларға зерттеу жүргізу өзекті болып табылады. Тегістеу құрылғысы көтерілген беру массасын бункердің шеткі қабырғаларына жылжытады. Нивелирлеу құрылғысының саусақтары жұмыс істегенде, қоректендіру массасының шамадан тыс жоғары көтерілуін жоюды қамтамасыз етеді және бункердің бүкіл ені бойынша қоректік массаның біркелкі қозғалысы есебінен араластыру процесі жеделдетіледі. Ылғалды тағамның кептіру процесінің жылдамдауы дымқыл тағамның жаңа порцияларының үнемі ыстық ауа әсеріне ұшырауымен түсіндіріледі.

Материалдар мен әдістер. Кептіру процесіне зерттеу жүргізу үшін әзірленген ұнтақтау-кептіру және араластыру құрылғысы пайдаланылды. Кептіру объектісі тауық жұмыртқасының жұмыртқа қабығы мен қалдық сарысы болды. Эксперименттік зерттеулерді жүргізу кезінде бір факторлы эксперименттік зерттеулер жүргізу әдісі және бақылау-өлшеу құралдары қолданылды.



Нәтиже. Эксперименттік зерттеулер мен тәжірибелік деректерді өңдеу нәтижесінде жем ұнының бөлшектерін кептіру процесінің математикалық моделі алынды, т.б. конвективтік кептіру, бұрандамен араластыру және біріктірілген ұнтақтау-кептіру және араластыру құрылғысында бір мезгілде ұнтақтау есебінен қарқынды жылу және масса алмасу үлгісі алынды.

Қорытынды. Құрастырылған ұнтақтау-кептіру және араластыру құрылғысының әзірленген конструктивтік және технологиялық схемасы жемді ұнтақтау, кептіру және араластыру процестерінің тұрақты орындалуын қамтамасыз етеді. Техникалық шешімнің түпнұсқалығы Қазақстан Республикасының өнертабысқа № 36486 патентінің берілуімен расталады.

**Кілт сөздер:** азық массасы; араластыру; жылу және масса алмасу; кептіру; ұнтақтау.

### Study of feed drying in a combined crushing-drying and mixing device

Ruslan M. Iskakov, Tokhtar Abilzhanuly, Alexander A. Gulyarenko,  
Valery Y. Khan, Evgenii Y. Remshov

#### Abstract

**Background and Aim.** When operating feed preparation equipment, there are such problems as bulkiness and increased costs, which increases the cost of feed. It is relevant to conduct research on combined devices with several technological processes in one device using a screw and a leveling device. The leveling device moves the raised feed mass to the end walls of the bin. When the fingers of the leveling device work, an excessively high rise of the feed mass is eliminated and the mixing process is accelerated due to the uniform movement of the feed mass across the entire width of the bin. Acceleration of the drying process of wet feed is explained by the fact that new portions of wet feed are constantly exposed to hot air.

**Materials and Methods.** To conduct research on the drying process, a developed grinding, drying and mixing device was used. Eggshells and waste yolks of chicken eggs served as the object of drying. When conducting experimental studies, a method of conducting single-factor experimental studies and control and measuring devices were used.

**Results.** As a result of experimental studies and processing of experimental data, a mathematical model of the drying process of feed meal particles was obtained, i.e. a model of intensive heat and mass transfer was obtained due to convective drying, screw-finger mixing and simultaneous grinding in a combined grinding-drying and mixing device.

**Conclusion.** The developed design and technological scheme of a combined grinding-drying and mixing device ensures stable implementation of the processes of grinding, drying and mixing of feed. The originality of the technical solution is confirmed by the issuance of a patent of the Republic of Kazakhstan for invention No. 36486.

**Keywords:** drying; feed mass; grinding; mixing; heat and mass transfer.