

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.363

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-2-38-46>**Автоматизация миникомбикормового завода***Е.А. Пшенов¹, А.А. Диденко², С.С. Блёскин³✉, В.А. Годорожа⁴*^{1,2,3,4}Новосибирский государственный аграрный университет – НГАУ; г. Новосибирск, Россия¹evgen_mex@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6371-456X>²didenkonsau@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8146-9147>³moonlait2510@mail.ru✉; <https://orcid.org/0000-0002-8671-6485>⁴godorozha2001@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0005-4426-3122>

Аннотация. Автоматизация миникомбикормового завода позволяет исключить человеческий фактор в процессе управления и контроля технологического процесса производства кормов. Исследования проведены с целью повышения эффективности работы миникомбикормового завода за счет автоматического контроля и управления процессом измельчения зерновых компонентов. Автоматизация систем управления технологическим процессом измельчения зерна возможна при условии механизации процесса регулирования подачи зернового материала в пневматическую молотковую дробилку. Авторами предложена модель системы дистанционного автоматического управления устройством загрузки (эжектором) пневматической молотковой дробилки с учетом заданной массы компонента согласно рецептуре комбикорма, силы потребляемого тока молотковой дробилкой и сравнения набора данных изображений задаваемых компонентов с видеопотоком поступающего сырья в дробилку. Для реализации предлагаемой модели разработан эжектор с дистанционным управлением заслонки окна подсоса воздуха посредством «боуден-троса». Проведена экспериментальная проверка его работоспособности, по результатам которой получена зависимость производительности эжектора от площади окна подсоса воздуха с достоверностью аппроксимации 0,9985. В результате доказано, что предлагаемое техническое решение способно осуществить автоматическое регулирование производительности пневматической молотковой дробилки. В дальнейшем планируется разработать сервопривод для плавного перемещения «боуден-троса» как в прямом, так и в обратном направлениях, а также мгновенного отключения подачи материала при достижении заданной массы компонента или возникновении аварийной ситуации.

Ключевые слова: комбикорм, мини завод, эжектор, пневматическая молотковая дробилка, автоматизация миникомбикормового завода, автоматизация систем управления технологическим процессом

Для цитирования: Пшенов Е.А., Диденко А.А., Блёскин С.С., Годорожа В.А. Автоматизация миникомбикормового завода // Агроинженерия. 2025. Т. 27, № 2. С. 38-46. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-2-38-46>

ORIGINAL ARTICLE

Prospects for the automation of a feed mini-plant*Е.А. Pshenov¹, А.А. Didenko², S.S. Bleskin³✉, V.A. Godorozha⁴*^{1,2,3,4}Novosibirsk State Agrarian University – NGAU; Novosibirsk, Russia¹evgen_mex@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6371-456X>²didenkonsau@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8146-9147>³moonlait2510@mail.ru✉; <https://orcid.org/0000-0002-8671-6485>⁴godorozha2001@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0005-4426-3122>

Abstract. Automation of a mini feed mill will eliminate the human factor in the management and control of the feed production process. The authors conducted research to improve the efficiency of the mini feed mill through automatic control and regulation of grain crushing. Automation of the control systems for grain crushing is feasible in case of mechanized regulation of grain material supply into a pneumatic hammer mill. The authors proposed a model for a remote automatic control system for the loading device (ejector) of a pneumatic hammer mill. The proposed design takes into account the specified mass of the component according to the feed formulation, the current consumed by the hammer mill, and the comparison of image datasets of the specified components

with the video stream of raw materials entering the mill. To implement the proposed model, they developed an ejector with remote control of the air suction window flap via a “Bowden cable”. Experimental testing of its functionality has shown a relationship between the ejector’s performance and the area of the air suction window with an approximation reliability of 0.9985. As a result, the research has proven that the proposed technical solution is capable of automatic regulation of the performance of a pneumatic hammer mill. There are further plans to develop a servo drive for smooth movement of the “Bowden cable” in both forward and reverse directions, as well as instant shutdown of material supply upon reaching the specified component mass or in case of emergency.

Keywords: compound feed, mini-plant, ejector, pneumatic hammer mill, automation of a small-scale feed mill, automation of process control systems

For citation: Pshenov E.A., Didenko A.A., Bleskin S.S., Godorozha V.A. Prospects for the automation of a feed mini-plant. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2025;27(2):38-46 (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-2-38-46>

Введение

Производство комбикормов из собственного зернового сырья способствует устойчивому развитию животноводства.

Преимуществами миникомбикормовых заводов являются приготовление адресных комбикормов для соответствующей половозрастной группы животных и возможность быстрой корректировки состава комбикорма. Однако в упрощенной технологической схеме миникомбикормовых заводов часто отсутствует комплекс подготовки зерна к переработке. Экструдирование осуществляется без предварительного измельчения и увлажнения цельного зерна, а также без очистки от минеральных примесей, что сказывается на работе экструдеров и их ресурсе [1, 2]. Перечисленных недостатков лишен экструдер ES-380 Avto S¹, в котором автоматический запуск и выход в рабочий режим осуществляются нажатием одной кнопки, система управления регулирует подачу, обеспечивая максимально возможную загрузку главного привода. Имеется функция передачи данных в диспетчерскую. Влажность исходного сырья влияет на процесс гранулирования.

Автоматизированные системы управления (АСУ) [3, 4] на комбикормовых заводах производительностью 10 т/ч контролируют работу технологического оборудования. АСУ применяются на средних и крупных комбикормовых заводах. Для миникомбикормового завода, состоящего из пневматической молотковой дробилки со смесителем, оборудованным весовым дозирующим устройством, необходим особый подход к контролю и управлению технологическим процессом, максимально снижающему человеческий фактор.

¹Agro-engineering: сайт. (2022). Register. URL: <https://agro-i.ru/catalog/oborudovanie-dlya-proizvodstva-kombikorma/ekstrudery/ekstrudery-es-380/?ysclid=m77bujlxks54920022>.

На минизаводе рецепты комбикормов заносятся в память контроллера, каждому компоненту присваивается порядковый номер без возможности выбора очередности загружаемого материала. Загрузка компонентов производится в определенной последовательности и качество готового продукта зависит от работы оператора, проводящего дозирование компонентов по световому и звуковому сигналам электронного весового дозирующего устройства при достижении 80 и 100% веса дозы, а также при превышении заданной массы компонента.

На миникомбикормовых заводах отсутствуют модули микродозирования что, по мнению авторов [5], не позволяет производить комбикорма надлежащего качества.

Работы С.Ю. Булатова и др. [6, 4] посвящены совершенствованию процесса дозирования сыпучих компонентов при производстве комбикормов шнековым дозатором как с ручным, так и с автоматическим управлением. В работе Ю.А. Ушакова и др. [7] представлено устройство объемного дозирования сыпучих компонентов комбикормов, повышающее точность дозирования множества сочетаний компонентов в автоматическом режиме. Способ непрерывного взвешивания дозаторным расходомером представил Д. Шилин [8, 9], что в совокупности с качественным смешиванием [10] позволит в будущем проводить дозирование в малых производственных цехах.

Выявить неисправности решета в молотковой дробилке в режиме реального времени позволяет созданная на основе машинного зрения система автоматической идентификации, установленная на устройстве отбора проб [11].

Проблемами дробилок с большой мощностью установленного электродвигателя являются большие пусковые токи и малый ресурс работы при частых перегрузках. Для решения первой проблемы применяют устройства плавного пуска или переключатели схем подключения со «звезды» при разгоне,

на «треугольник» после выхода на номинальные обороты. Вторая задача решается установкой амперметра для визуальной оценки степени загрузки дробилки, поскольку в силу особенности конструкции пневматические самовсасывающие дробилки не имеют средств автоматического регулирования подачи исходного сырья. Проблематике токовой защиты асинхронного электродвигателя посвящены работы В.Г. Петько и др. [12], в которых обосновываются основные конструктивные параметры защиты, в том числе с использованием микроконтроллера.

Совершенствованию технологического процесса измельчения зерна на молотковых дробилках посвящены также работы зарубежных авторов. Это, в частности, повышение эффективности просеивания решета на основе воздушного потока [13], использование Т-образного молотка вместо классического, имеющего прямоугольную форму [14], оптимизация работы по ключевым факторам – скорости вращения шпинделя, влажности зерна кукурузы и количества молотков [15], повышение производительности молотковой дробилки за счет решета с треугольным профилем для разрушения циркуляционного слоя [16], а также комбинированного решета [17].

Проведенный анализ выявил актуальность вопроса автоматизации миникомбикормового производства.

Цель исследований: повышение эффективности работы миникомбикормового завода за счет автоматического контроля и управления процессом измельчения зерновых компонентов.

Материалы и методы

Для исключения человеческого фактора при загрузке пневматической молотковой дробилки необходимо обеспечить дистанционное управление эжектором, которое позволит плавно увеличивать подачу зернового материала в дробилку, при этом в качестве обратной связи используют силу потребляемого тока. Для контроля максимальной допустимой нагрузки на дробилках с мощностью двигателя от 5 кВт используют амперметр, установленный на пульте управления. При этом контроль силы тока осуществляется оператором визуально, а регулировка эжектора производится вручную перемещением центральной трубы эжектора непосредственно в месте забора зернового материала. Блоки управления приводом технологического оборудования по силе тока уже существуют, остается решить задачу дистанционного управления эжектором, расположенным на конце гибкого материалопровода на расстоянии до 10...15 м от пневматической молотковой дробилки. Это позволит в автоматическом режиме останавливать подачу

материала в дробилку при достижении заданной массы измельчаемого компонента посредством обеспечения связи блока управления эжектором с электронным весовым дозирующим устройством.

Чтобы исключить ошибочную загрузку оператором компонента в иерархии рецептурного списка, предлагается использовать систему машинного зрения, которая на основе анализа изображения компонента позволит исключить влияние человеческого фактора за счет связи с электронным весовым дозирующим устройством.

Основным компонентом систем машинного зрения являются камеры, обеспечивающие получение цифрового изображения высокого качества, оптимального для компьютерной обработки, анализа, измерений, диагностики, распознавания и контроля². В части программного обеспечения возможно использование библиотеки с открытым кодом OpenCV, а в качестве аппаратных средств – nVidiaJetson, Intel® Movidius™ Myriad™ X Vision Processing Unit.

Проблему человеческого фактора можно исключить и путем установки стационарных оптических датчиков на каждом закрое с зерновым материалом, которые также необходимо связать с электронным весовым дозирующим устройством.

Электронное весовое дозирующее устройство должно обеспечивать передачу данных на ПК оператора для обеспечения оперативного контроля, учета компонентов комбикормов и накопления данных.

Предлагаемая схема управления пневматической молотковой дробилкой на основе дистанционного управления эжектором представлена на рисунке 1.

Управление пневматической молотковой дробилкой по предложенной схеме позволит исключить ошибочную загрузку компонента, оптимизировать загрузку дробилки по силе тока и защитить ее от перегрузки, автоматически отключать подачу измельчаемого компонента при достижении заданной рецептурой массы, собирать данные для последующего анализа состава готовых комбикормов и количества израсходованных компонентов.

На основании проведенного анализа технологического процесса производства комбикормов поставлена задача: разработать механическую часть системы дистанционного управления эжектором пневматической молотковой дробилки.

²Базуев И.В. Цифровизация процессов единой системы управления производственной безопасностью // Актуальные проблемы нефти и газа: Сборник трудов V Всероссийской молодежной научной конференции, Москва, 20-21 октября 2022 года. Москва: Институт проблем нефти и газа Российской академии наук, 2022. С. 169-172. EDN: WZEKHN

В качестве технического решения предлагается эжектор с управляемым окном подсоса воздуха, площадь которого изменяется подпружиненной заслонкой, перемещающейся с помощью «боуден-троса» (рис. 2) и сервопривода, управляемого блоком управления эжектора.

Предлагаемый эжектор работает следующим образом. Перед запуском пневматической дробилки заслонка находится в положении «Открыто». После включения дробилки (пневмотранспортной установки) эжектор помещается в насыпь транспортируемого материала. Сервопривод плавно закрывает заслонку. Уменьшение площади окна подсоса воздуха приводит к увеличению разрежения в приемном конусе эжектора, и как следствие – к засасыванию транспортируемого материала и подаче его в пневматическую дробилку. При этом визуально наблюдается изменение показаний амперметра, а в блоке управления эжектором фиксируется значение силы

тока, при которой заслонка останавливается. После окончания процесса измельчения (транспортирования) заслонка переводится в положение «Открыто». Разрежение в приемном конусе падает, прекращается подача транспортируемого материала и происходит продувка всасывающего материалопровода и пневматической дробилки.

Методика экспериментальных исследований. Для подтверждения предложенной гипотезы проведены поисковые экспериментальные исследования процесса измельчения зерна на молотковой дробилке с отводом продуктов измельчения зерна посредством пневмотранспорта.

Исследовали зависимость гранулометрического состава продуктов дробления зерна от подачи зерна в дробилку и величины потребляемой мощности.

Гранулометрический состав проб измельченного зерна определялся с помощью метода ситового анализа согласно ГОСТ 13496.8-72 «Комбикорма».

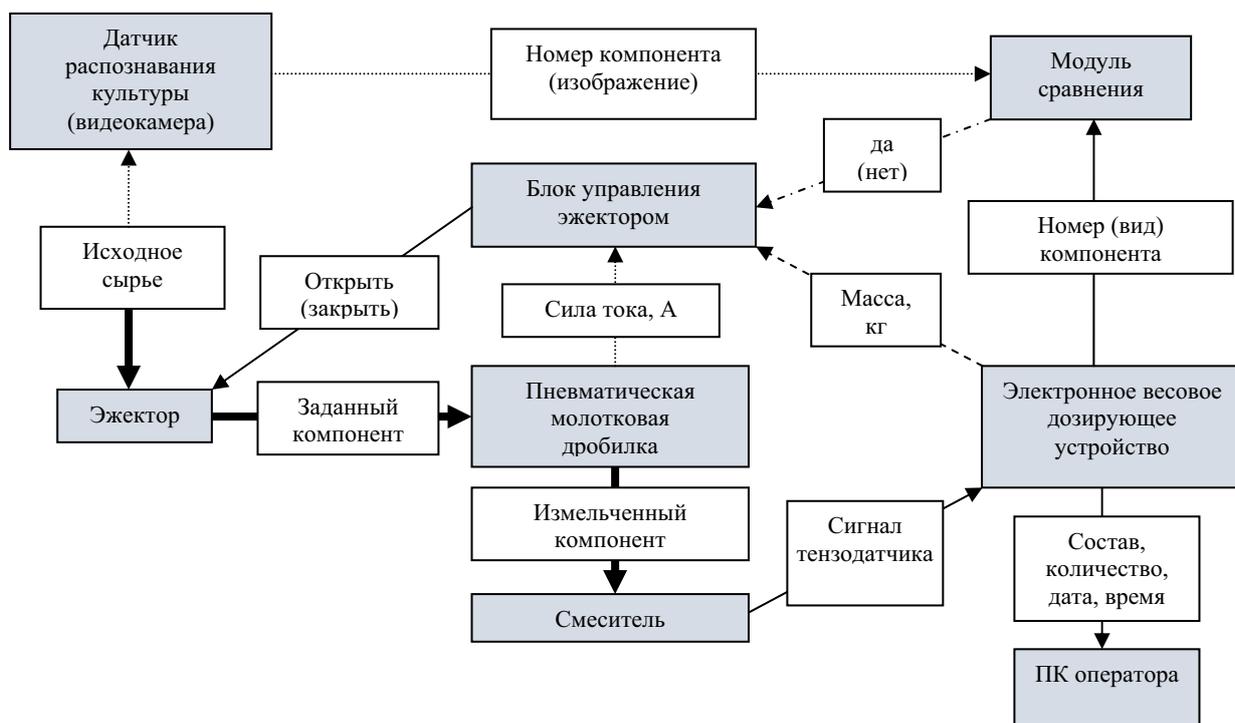


Рис. 1. Блок-схема управления пневматической молотковой дробилкой с дистанционным управлением эжектора

Fig. 1. Block diagram of a pneumatic hammer crusher with remote ejector control

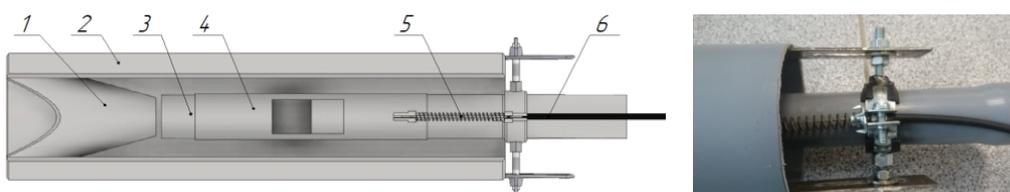


Рис. 2. Конструкция эжектора:

1 – конфузор; 2 – кожух; 3 – центральная труба; 4 – заслонка; 5 – пружина; 6 – «боуден-трос»

Fig. 2. Ejector design:

1 – confuser; 2 – casing; 3 – central pipe; 4 – flap; 5 – spring; 6 – Bowden cable

Замер потребляемой мощности дробилки и эффективность работы циклона определялись на экспериментальной установке.

Измельчались пробы зерна пшеницы массой 4 кг и влажностью около 16%. Диаметр отверстий решета на дробилке соответствовал 3 мм.

Схема экспериментального стенда, состоящего из дробилки ШИК Б-600 с системой отвода продуктов дробления, включающей в себя пневмоприемник-отвод типа У2-БПО, материалопровод, циклон УЦ-38 и вентилятор, представлена на рисунке 3.

Подачу зерна в дробилку ШИК Б-600 регулировали штатной заслонкой, расположенной в загрузочном бункере. Предварительно экспериментально определили минимальную высоту подъема заслонки, обеспечивающую стабильное поступление зерна в камеру измельчения, а оставшийся ход разбили на пять равноудаленных положений. Изготовили дополнительную задвижку, открывающуюся вручную при сохранении выставленного положения основной заслонки в каждой повторности.

Время измельчения каждой пробы зерна определяли секундомером, потребляемую мощность дробилки – амперметром.

Из общей массы измельченного зерна отбирали пробы методом квадратования и проводили ситовой анализ согласно ГОСТ 13496.8-72 «Комбикорма».

Ситовой анализ навески массой 100 г проводили набором штампованных сит диаметром 150 мм с отверстиями диаметром 1, 2, 3 и 5 мм на рассеве лабораторном У1-ЕРЛ-10. Использовали весы лабораторные ВК-600 с точностью взвешивания 0,01 г.

Для экспериментальной проверки работоспособности предлагаемого эжектора с регулируемым окном подсоса воздуха разработана и изготовлена экспериментальная установка (рис. 4), в которой за счет разрежения, создаваемого вентилятором, зерно из короба засасывается эжектором и по гибкому материалопроводу попадает в циклон с приемным герметичным бункером.

На центральной трубе эжектора (рис. 5) выполнено окно подсоса воздуха прямоугольного сечения. Площадь живого сечения всасывающего окна в 1,75 раза больше площади сечения материалопровода диаметром 36 мм.

Приняв ширину окна B как $1/4$ от длины окружности центральной трубы диаметром d , получим

$$B \geq d \cdot \sin(\alpha/2) \geq 36 \cdot \sin(90^\circ/2) \geq 25,5 \text{ мм}, \quad (1)$$

где α – центральный угол, соответствующий $1/3$ длины окружности, $\alpha = 90^\circ$.

Принято $B = 26$ мм.

Длина окна L определена соотношением:

$$L \geq 0,25 \cdot 1,75 \cdot 4 \cdot d \geq 1,75 \cdot 36 \geq 63 \text{ мм}. \quad (2)$$

Принято $L = 65$ мм.

В центральной трубе эжектора на расстоянии $l \geq L$ от входного конца вырезано окно прямоугольной формы с длиной $L = 65$ мм и шириной $B = 26$ мм.

Зерновой ворох засыпался в имитирующий закрываемый короб. Предварительно перемещением центральной трубы в пазах кронштейна при закрытой заслонке окна подсоса воздуха эжектор настраивался на максимальную загрузку. Предварительно определено положение заслонки, обеспечивающее стабильное засасывание материала в эжектор.

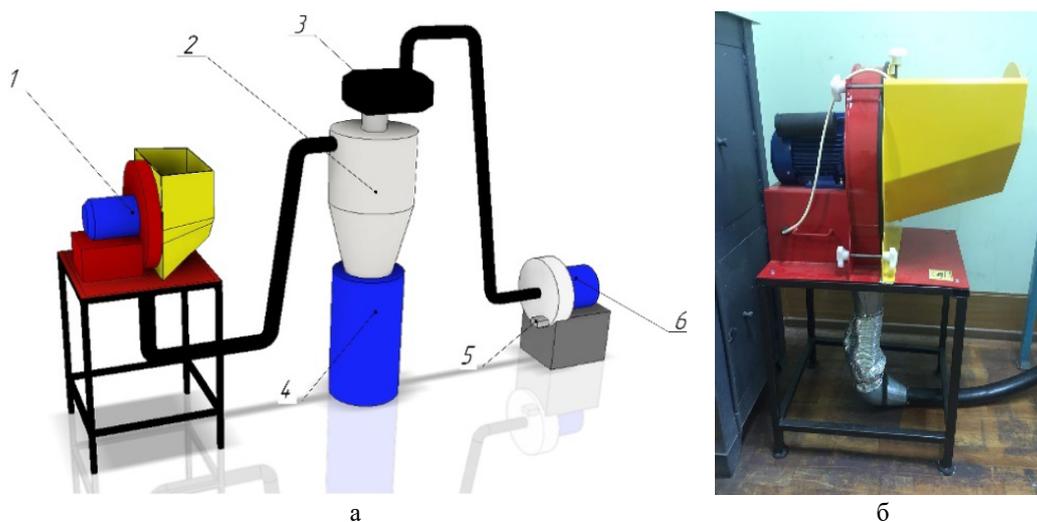


Рис. 3. Схема экспериментальной установки (а) и общий вид дробилки ШИК Б-600 (б):

1 – пневматическая молотковая дробилка; 2 – циклон; 3 – фильтр-уловитель частиц; 4 – емкость сбора фракций; 5 – выходной патрубков фракций; 6 – вентилятор

Fig. 3. Experimental installation (a) and general view of the ShIK B-600 crusher (b):

1 – hammer crusher; 2 – cyclone; 3 – particle trap filter; 4 – fraction collection tank; 5 – fraction outlet branch pipe; 6 – fan

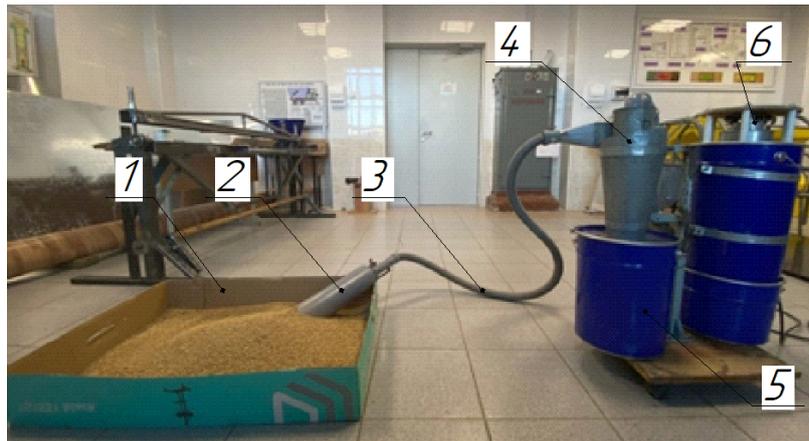


Рис. 4. Общий вид экспериментальной установки с эжектором:
1 – короб; 2 – эжектор; 3 – материалопровод; 4 – циклон ЦР; 5 – бункер; 6 – вентилятор

Fig. 4. General view of the experimental installation with an ejector:
1 – box; 2 – ejector; 3 – material pipeline; 4 – cyclone discharger; 5 – hopper; 6 – fan



Рис. 5. Общий вид конструкции эжектора
Fig. 5. General view of ejector structure

Затем вдоль длины окна подсоса воздуха отметили семь одинаковых отрезков, получив шесть положений заслонки. На этапе проверки работоспособности эжектора не использовались «боуден-трос» и пружина. Опыт проводился в трехкратной повторности.

Каждая повторность проводилась в такой последовательности: выставлялось очередное положение заслонки относительно центральной трубы эжектора; запускался вентилятор; после выхода его на номинальные обороты эжектор помещался в ворох зерна; с момента погружения засекалось время наполнения бункера (60 с); фиксировалась потребляемая мощность вентилятора; по истечении 60 с эжектор извлекался из вороха; система продувалась; взвешивался набранный материал³; производилась обработка полученных данных.

³Новосибирский государственный аграрный университет: сайт. (2022). Register. URL: <https://edubiotech.ru/file/1829181>.

Результаты и их обсуждение

Результаты экспериментальных исследований гранулометрического состава продуктов дробления зерна в виде массы остатков на ситах (m_o , г) в зависимости от подачи (q , кг/с) материала в дробилку представлены на гистограмме (рис. 6).

Установлено, что при изменении подачи материала меняется гранулометрический состав: при подаче 0,16 кг/с количество фракции, оставшейся на сите с диаметром отверстий 3 мм, увеличивается на 40%, а количество мелкой пылевидной, проходящей через сито с диаметром отверстий 1 мм, уменьшается на 8% по сравнению с подачей 0,09 кг/с.

В диапазоне увеличения подачи с 0,1 до 0,16 кг/с остаток на сите с диаметром отверстий 1 мм имеет тенденцию снижаться на 15%, а с диаметром отверстий 2 мм – наоборот, увеличиваться на 25%.

Полученные данные дают возможность регулировать гранулометрический состав изменением подачи материала в дробилку в зависимости от назначения готового комбикорма, что сказывается на качестве готового продукта.

Результаты замеров потребляемой мощности (N , Вт) молотковой дробилки при изменении подачи материала (q , кг/с) представлены на рисунке 7.

Полученная зависимость подтверждает взаимосвязь потребляемой мощности от подачи зернового материала в молотковую дробилку и гранулометрического состава продуктов измельчения зерна, а также возможность автоматического регулирования степени ее загрузки посредством силы тока в качестве обратной связи от дробилки к блоку управления эжектором. Подаче 0,13 и 0,16 кг/с соответствуют значения мощности 2722 и 2982 Вт. С учетом того, что паспортная мощность электродвигателя молотковой

дробилки ШИК Б-600 составляет 2200 Вт, перегрузка составила 24 и 34% соответственно.

Асинхронные двигатели выдерживают кратковременные перегрузки до 50% в течение 1 мин практически без последствий. Поскольку технологический процесс измельчения зерна по продолжительности занимает значительно большее время, то перегрузки неизбежно приведут к перегреву и преждевременному выгоранию изоляции обмоток статора, что

доказывает необходимость автоматической защиты электродвигателя по току нагрузки.

Результаты экспериментальной проверки работоспособности предлагаемого эжектора с регулируемым окном подсоса воздуха полностью подтверждают техническую возможность дистанционного управления производительностью пневматической молотковой дробилки в диапазоне от 0 (при открытой заслонке) до 933 кг/ч (при закрытом окне) (рис. 8).

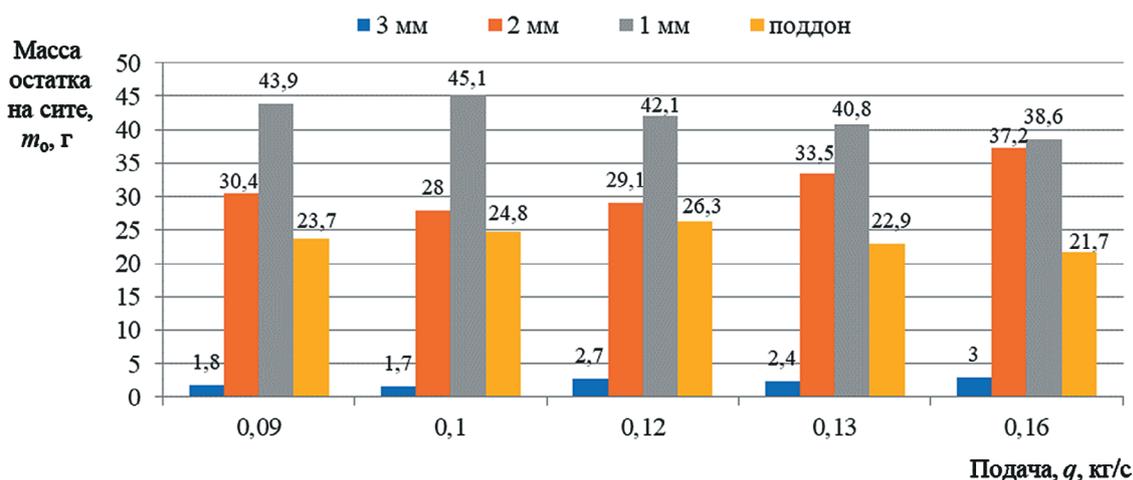


Рис. 6. Зависимость гранулометрического состава продуктов измельчения зерна от подачи на дробилку ШИК Б-600

Fig. 6. Relationship between grain size distribution of grain milling products and feed to the ShIK B-600 crusher

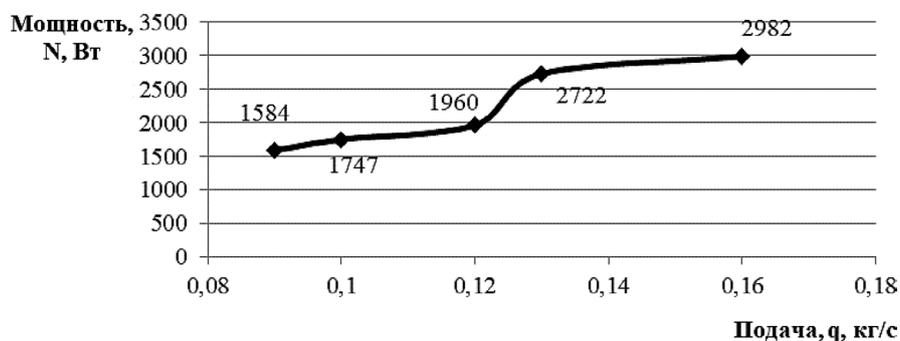


Рис. 7. Зависимость потребляемой мощности (N) дробилкой ШИК Б-600 от подачи материала (q)

Fig. 7. Relationship between power consumption (N) of the ShIK crusher B-600 and the supply of material (q)

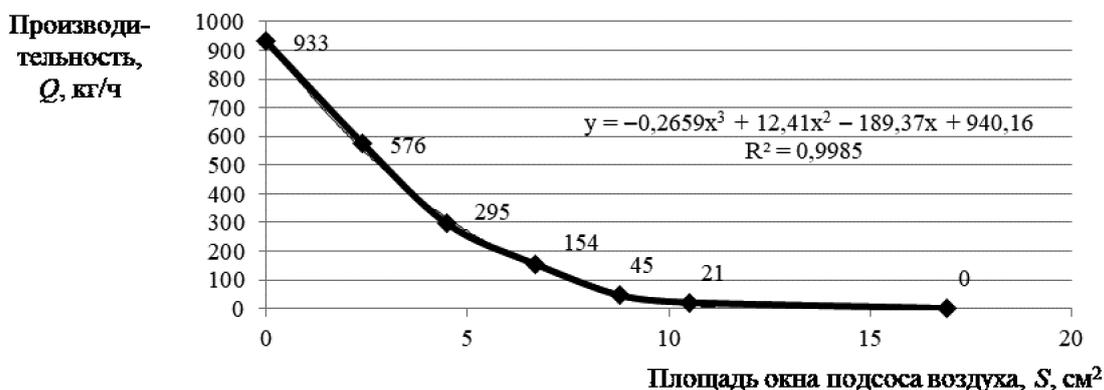


Рис. 8. Зависимость производительности эжектора (Q) от площади окна подсоса воздуха (S)

Fig. 8. Relationship between the ejector capacity (Q) and the air suction window area (S)

По данным С.Ю. Булатова [19], подающее устройство (эжектор) оказывает влияние на производительность агрегата приготовления рассыпных комбикормов. По результатам производственных испытаний выявлено повышение производительности дробилки на 15% в результате модернизации эжектора. Также дистанционное управление эжектором повышает эксплуатационную надежность пневматической молотковой дробилки за счет защиты асинхронных электродвигателей от перегрузок [12] в автоматическом режиме.

Выводы

1. В комбикормовом производстве, в условиях фермерских хозяйств, отсутствуют системы автоматизированного управления.

2. Предложенная авторами схема управления пневматической молотковой дробилкой с дистанционным

управлением эжектора показала свою работоспособность в ходе экспериментальной проверки.

3. Установленная зависимость производительности эжектора от площади окна подсоса воздуха имеет вид полинома третьей степени с достоверностью аппроксимации $R^2 = 0,9985$. Таким образом, в зависимости от положения заслонки блок управления эжектором может прогнозировать требуемую производительность и автоматически корректировать подачу зернового материала в дробилку, повышая качество готового продукта.

4. Дальнейшие исследования будут направлены на разработку сервопривода для плавного перемещения «боуден-троса» как в прямом, так и в обратном направлениях, а также мгновенного отключения подачи материала при достижении заданной массы компонента или возникновении аварийной ситуации.

Список источников / References

1. Пшенев Е.А. Гидротермическая подготовка зерна перед экструдированием // Актуальные проблемы агропромышленного комплекса: Сборник трудов научно-практической конференции преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов Новосибирского ГАУ, г. Новосибирск, 20 октября 2021 г. Новосибирск: Издательский центр НГАУ «Золотой колос», 2021. С. 97-101. EDN: ZRJTCZ
1. Pshenov E.A. Hydrothermal preparation of grain before extruding. *Aktualnye problemy agropromyshlennogo kompleksa: Proceedings of the Scientific and Practical Conference of academic staff, postgraduate students, master students and students of Novosibirsk GAU, Novosibirsk, October 20, 2021*. Novosibirsk: Izdatelskiy tsentr NGAU "Zolotoy Kolos", 2021. Pp. 97-101. (In Russ.)
2. Prabhakar S., Anjali S., Anjali S. Study of machine parameters in twin-screw extruder for pulses based extrudate. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 2021;23(4):274-282.
3. Peng F., Fang F., Huang Z.G. Development and experimental study on a pilot-scale feed pellet mill. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2020;13(6):201-206. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20201306.5826>
4. Афанасьев В., Щеблыкин В. Комплексные интегрированные системы автоматизации комбикормового производства // Комбикорма. 2017. № 10. С. 48-52. EDN: ZOXXIT
4. Afanasyev V., Shcheblykin V. Complex integrated systems of feed production automation. *Kombikorma*. 2017;10:48-52. (In Russ.)
5. Bulatov S., Nechaev V., Savinykh P., Rucins A. Research results of experimental automated system for dosing bulk materials. *Engineering for Rural Development*. 2021;199-204. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF043>
6. Chkalova M., Shahov V., Pavlidis V., Solovyov S. Application of nanopowders in industrial production of mixed feed. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;771:012065. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/771/1/012065>
7. Карташов С.Г. Использование цифровизации производства при разработке технологии приготовления кормолекарственных смесей // Вестник ВИЭСХ. 2018. № 4. С. 95-100. EDN: MJQUPR
7. Kartashov S.G. Use of production digitalization in the development of the preparation technology of feed-medicinals mixtures. *Vestnik VIESKh*. 2018;4:95-100. (In Russ.)
8. Булатов С.Ю., Нечаев В.Н., Сергеев А.Г., Савиных П.А. Результаты исследований весового дозирования ингредиентов комбикорма // Техника и оборудование для села. 2021. № 1. С. 20-24. EDN: YUQNPU
8. Bulatov S.Yu., Nechaev V.N., Sergeev A.G., Savinykh P.A. Results of research of weight batching of feed compound ingredients. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2021;1:20-24. (In Russ.) <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2021-1-20-24>
9. Ушаков Ю.А., Пушко В.А., Ягудин А.Р., Тимофеев А.О. Устройство объемного дозирования сыпучих компонентов для производства комбикормов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 3. С. 226-229. EDN: RMYWFE
9. Ushakov Yu.A., Pushko V.A., Yagudin A.R., Timofeev A.O. The device for volumetric dosing of bulk components for mixed feeds production. *Izvestiya Orenburgskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta*. 2020;3:226-229. (In Russ.)
10. Shilin D., Shestov D. Continuous weighing technology with increased energy efficiency of bulk materials with various physical and mechanical properties. *Lecture Notes in Electrical Engineering (LNEE)*. 2021;729:245-254. https://doi.org/10.1007/978-3-030-71119-1_25
11. Biazzi H.M., Tubin J.S.B., Conte R.A. et al. Different sieving methods for determining the physical characteristics in ground corn. *Acta Scientiarum Animal Sciences*. 2022;44(1):e53382. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v44i1.53382>
12. Благовещенская М.М., Петряков А.Н., Савостин С.Д., Благовещенский И.Г. Применение алгоритмов распознавания формы объектов для автоматизации контроля органолептических показателей качества комбикормового производства // Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука. 2017. Т. 1. С. 194-196. EDN: WOLCDT
12. Blagoveshchenskaya M.M., Petryakov A.N., Savostin S.D., Blagoveshchenskiy I.G. Use of algorithms of object shape recognition for the automated control of organoleptic quality indicators of mixed fodder production. *Razvitie pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti Rossii: kadry i nauka*. 2017;1:194-196. (In Russ.)
13. Zhang W., Niu Z., Liu J., Liu M. Design and experiments of online automatic identification device for screen breakage of hammer mill. *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions*

of the Chinese Society of Agricultural Engineering. 2021;37(2):61-70. <https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2021.2.008>

14. Petko V., Rakhimzhanova I., Ushakov Y., Fomin M., Kononets V. Justification of main design parameters of asynchronous electric motor current protection. *Engineering for Rural Development*. 2021. Pp. 1154-1162. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF251>

15. Cao L., Zhang Y., Zhang Y., Li Y. Influence of screen parameters optimization on screening efficiency of feed hammer mill. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2016;32(22):284-288. <https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2016.22.039>

Информация об авторах

¹ **Пшенов Евгений Александрович**, канд. техн. наук, доцент кафедры механизации животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции; evgen_mex@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6371-456X>, AuthorID: 729838

² **Диденко Александр Александрович**, канд. техн. наук, доцент кафедры механизации животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции; didenkonsau@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8146-9147>, AuthorID: 772798

³ **Блёскин Сергей Сергеевич**, ассистент кафедры механизации животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции; moonlait2510@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8671-6485>, AuthorID: 1145092

⁴ **Годорожа Вячеслав Александрович**, магистрант кафедры механизации животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции; godorozha2001@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0005-4426-3122>

^{1,2,3,4} Новосибирский государственный аграрный университет; 630039, Российская Федерация, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160

Вклад авторов

Е.А. Пшенов – формулирование концепции экспериментальных исследований;

А.А. Диденко – разработка методики проведения исследований; С.С. Блёскин – представление результатов, обработка полученных результатов;

В.А. Годорожа – проведение экспериментальных исследований, подготовка графических материалов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат.

Статья поступила 17.10.2024, после рецензирования и доработки 18.02.2025; принята к публикации 02.03.2025

16. Khudher A.Y., Almaliki S.A., Himoud M.S. Effect of hammer shape and impact area on hammer mill performance under different feed rates. *Basrah Journal of Agricultural Sciences*. 2021;34(2):88-99. <https://doi.org/10.37077/25200860.2021.34.2.07>

17. Wang D., He C., Tian H. et al. Parameter optimization and experimental research on the hammer mill. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2020;62(3):341-350. <https://doi.org/10.35633/inmateh-62-36>

18. Wang D., He C., Wang H. et al. Design and experimental optimization of airfoil-triangle sieve for hammer mill. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2020;61(2):315-322. <https://doi.org/10.35633/inmateh-61-34>

Author Information

Evgeniy A. Pshenov¹, CSc (Eng), Associate Professor, the Department of Mechanization of Animal Husbandry and Processing of Agricultural Products; evgen_mex@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6371-456X>, AuthorID: 729838

Aleksandr A. Didenko², CSc (Eng), Associate Professor, the Department of Mechanization of Animal Husbandry and Processing of Agricultural Products; didenkonsau@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8146-9147>, AuthorID: 772798

Sergey S. Bleskin³, Assistant Professor, the Department of Mechanization of Animal Husbandry and Processing of Agricultural Products; moonlait2510@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8671-6485>, AuthorID: 1145092

Vyacheslav A. Godorozha⁴, MSc student, the Department of Mechanization of Animal Husbandry and Processing of Agricultural Products; godorozha2001@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0005-4426-3122>.

^{1,2,3,4} Novosibirsk State Agrarian University; 630039, Russia, Novosibirsk, Dobrolyubova Str., 160.

Authors Contribution

E.A. Pshenov – conceptualization;

A.A. Didenko – methodology;

S.S. Bleskin – results and discussion, data curation, formal analysis;

V.A. Godorozha – investigation, visualization.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests and are responsible for plagiarism.

Received 17.10.2024; Revised 18.02.2025; Accepted 02.03.2025