

Автореферт,
и 26

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
им. М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Аспирант И.И. ИГНАТЕНКО

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ КОМПЛЕКСНОЙ
АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ
В КОМБИКОРМОВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

198 – Автоматизация производственных процессов

Автореферат диссертации на
соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса – 1968

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
им. М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Аспирант И.И. ИГНАТЕНКО

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ КОМПЛЕКСНОЙ
АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ
В КОМБИКОРМОВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

198 – Автоматизация производственных процессов

Переучет 19 8

Автореферат диссертации на
соискание ученой степени
кандидата технических наук

✓ 001477



Одесса - 1968

Работа выполнена на кафедре механизации и автоматизации производства Одесского технологического института имени М.В. Ломоносова.

Научный руководитель -
доктор технических наук профессор ПЛАТОНОВ П.Н.

Официальные оппоненты -
доктор технических наук профессор ДЕМИДОВ А.Р.;
кандидат технических наук МИТРОФАНОВ Ю.Н.

Ведущее предприятие - Всесоюзный научно-исследовательский институт комбикормовой промышленности.

Автореферат разослан " _____ 1968 г.

Защита диссертации состоится " _____ 1968 г.
на заседании Совета по присуждению ученых степеней технологического института имени М.В. Ломоносова.

Просим Ваши отзывы в двух экземплярах присылать по адресу: г.Одесса - 39, ул. Свердлова, 112. Технологический институт имени М.В. Ломоносова.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА

(Л. ЗАПОРОЖЕЦ)

В В Е Д Е Н И Е

Программой КПСС и решениями XXIII съезда определена важнейшая роль комбикормовой промышленности в дальнейшем подъеме животноводства как отрасли, позволяющей в самом широком масштабе внедрить достижения науки в практику кормления животных и добиться при этом наиболее эффективного использования кормовых ресурсов страны. В соответствии с поставленными задачами намечен рост годового объема продукции комбикормовых предприятий с 15,2 млн. тонн в 1965 году до 55 млн. тонн в 1970 г. Успешное выполнение этих задач невозможно без создания высокоорганизованного и автоматизированного производства.

Технология комбикормового производства в своей основе содержит все необходимые предпосылки для создания комплексно автоматизированных комбикормовых предприятий. Решение этого вопроса должно осуществляться путем последовательной автоматизации отдельных технологических процессов.

Среди основных технологических процессов измельчение минеральных, минерально-органических и органических продуктов занимает одно из первых мест. Это объясняется тем, что в процессе производства от 50 до 90% сырья подлежит измельчению, на что расходуется от 40 до 50% всей электроэнергии, потребляемой предприятиями. Кроме того, процессы измельчения органических продуктов определяют производственную мощность всего комбикормового предприятия и принимают непосредственное участие в формировании основных качественных признаков комбикормовой смеси: крупности размола отдельных компонентов, выравненности частиц в измельченном продукте и содержания в последнем мучнистой фракции.

Комплексная автоматизация процессов измельчения является существенным резервом для увеличения производительности комбикормовых предприятий, сокращения численности обслуживающего персонала, уменьшения удельного расхода электроэнергии и повышения качества готовой продукции.

В настоящее время автоматизация процессов измельчения в комбикормовом производстве сводится к применению систем дистанционного автоматизированного управления поточно-производственными измельчающими комплексами и может быть охарактеризована как частичная, поскольку осуществляется всего лишь в плане стабилизации загрузки измельчающих машин. Применение указанных систем не затрагивает самого главного – стабилизации в соответствии с требованиями технологии крупности размола готового продукта. Реализация этих требований на отечественных и зарубежных комбикормовых предприятиях осуществляется путем ручного управления соответствующими машинами.

Разработка эффективных методов и технических средств стабилизации крупности размола готового продукта, удовлетворяющих современным требованиям технологии комбикормового производства, в дополнение к применяемым на практике системам автоматического регулирования загрузки молотковых дробилок создает условия для комплексной автоматизации процессов измельчения.

Приведенные соображения определили направление реферируемой работы, основными задачами которой являются:

1. Анализ различных схем измельчения с позиций технологической эффективности и соответствия требованиям комплексной автоматизации и выбор на этой основе оптимальной схемы измельчения.
2. Обоснование возможных путей комплексной автоматизации различных видов сырья в комбикормовом производстве.
3. Исследование статических и динамических свойств оптимального измельчающего комплекса как объекта автоматического управления.
4. Разработка системы автоматического регулирования крупности размола органических продуктов.
5. Электронное и физическое моделирование, а также производственные испытания системы автоматического регулирования крупности размола.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка и приложений.

В первой главе рассматриваются особенности измельчающих систем в комбикормовом производстве с точки зрения их автоматизации и формулируются условия на разработку систем стабилизации крупности размола готового продукта.

Отмечается, что в качестве основной технологической машины в подавляющем большинстве измельчающих систем используют молотковые дробилки (с нерегулируемым приводом), обладающие целым рядом достоинств по сравнению с другими измельчающими машинами.

С позиций комплексной автоматизации такие системы представляют собой сложный объект, режим работы которого характеризуется регулируемыми величинами: загрузкой молотковой дробилки и крупностью размола готового продукта.

В работе показано, что системы автоматического регулирования загрузки молотковой дробилки и автоматического регулирования крупности размола готового продукта могут быть выполнены несвязанными. Это позволяет разделить объект автоматического управления на два самостоятельных участка и рассматривать участок стабилизации крупности размола отдельно от участка стабилизации загрузки молотковой дробилки.

В комбикормовом производстве существует два вида требований к крупности размола компонентов, в основу которых положены разные принципы оценки, а также задания этой величины.

При измельчении основных компонентов комбикормовых смесей требования к их крупности в каждом отдельном случае согласуются с научно-обоснованными и оговоренными в рецептуре нормами крупности предполагаемой смеси. Это продиктовано тем, что эффективность скармливания комбикормов животным находится в тесной зависимости от крупности размола ингредиентов, входящих в их состав. В основу метода контроля крупности при измельчении органических продуктов положено определение средневзвешенного размера частиц - модуля крупности M .

К крупности минерального сырья в минерально-органических обогатительных смесей предъявляются другие требования. В силу того, что процентное содержание таких компонентов в комбикормах невелико, для обеспечения гомогенности предполагаемой смеси необходимо более тонкое измельчение компонентов вне зависимости от целевого назначения комбикорма. Крупность размола таких компонентов устанавливается специальными нормами, ограничивающими размер частиц только по верхнему пределу. Считается, что распределение частиц по крупности в готовом продукте, отвечающее максимально возможному средневзвешенному размеру, не является нежелательным результатом измельчения, а всякое уменьшение средневзвешенного размера свидетельствует лишь об улучшении качества готового продукта.

На основе анализа рассмотренных требований, предъявляемых к крупности размола компонентов, в работе сформулированы условия на разработку соответствующих систем стабилизации:

для случаев измельчения минеральных продуктов и минерально-органических обогатителей

1. Оценка крупности размола готового продукта по наибольшему размеру входящих в него частиц.
2. Поддержание крупности на уровне, установленном специальными нормами измельчения соответствующих компонентов;

для случаев измельчения органических продуктов

1. Оценка крупности размола готового продукта по величине средневзвешенного размера входящих в него частиц - модуля крупности.
 2. Дистанционное задание модуля крупности в диапазоне от 0,5 до 2,6 мм.
 3. Поддержание модуля крупности на заданном уровне.
- Анализ же некоторых прямых и косвенных оперативных способов оценки крупности размола продуктов измельчения,

предлагаемых в ряде отраслей промышленности для контроля и регулирования режима работы измельчающих машин, позволяет сделать вывод о целесообразности применения в качестве анализатора крупности продуктов измельчения технологической просеивающей машины, если ее участие в схеме измельчения оправдывается технологической необходимостью.

Во второй главе анализируются различные схемы измельчения с позиции технологической эффективности и соответствия требованиям автоматизации. На этой основе производится выбор оптимальной схемы измельчения, формулируются требования к построению технологических схем измельчения в связи с комплексной автоматизацией и разрабатываются принципиальные схемы управления этими процессами.

Показано, что схемы измельчения, применяемые в комбикормовой промышленности, по принципу их построения могут быть сведены в три основные группы:

1. Схемы прямого измельчения (открытый цикл).
2. Схемы замкнутого измельчения (замкнутый цикл).
3. Комбинированные схемы.

Схемы прямого измельчения в силу простоты и невысокой первоначальной стоимости их реализации получили наибольшее распространение в комбикормовой промышленности. Показано, что такие схемы обладают рядом существенных недостатков, от большинства которых свободны схемы замкнутого измельчения, широко применяемые в ряде отраслей промышленности: горнорудной, цементной, углеобогадательной, камнедробильной и пр., а также в комбикормовой при измельчении минерально-органических обогатителей (повсеместно), минерального сырья (редко в отечественной и достаточно широко в зарубежной практике).

Если учесть, что измельчение по схеме открытого цикла требует применения активного контроля крупности готового продукта с использованием просеивающей машины, то увеличение первоначальных затрат на применение замкнутого измельчения в действительности не всегда имеет место. Кроме

того, практика применения схем замкнутого измельчения отмечает значительное повышение производительности дробильных установок, улучшение качества готового продукта (обеспечение постоянства крупности по верхнему размерному пределу) и снижение удельного расхода электроэнергии.

Целесообразность применения схем замкнутого измельчения в комбикормовом производстве нашла подтверждение в работах В.Хахмана, С.П. Джинджихадзе, коллектива авторов Всесоюзного научно-исследовательского института комбикормовой промышленности и Воронежского сельскохозяйственного института. В связи с этим представляют также значительный интерес работы С.В. Мельникова, В.И. Сыроватки, Ф.Г. Плохова, Г.И. Шуба и др., которые хотя и посвящены изучению открытого цикла, тем не менее позволяют уточнить эффективность замкнутого измельчения с просеивающей машиной.

При работе молотковых дробилок по схеме открытого цикла в их рабочей зоне создается круговой воздушный поток, насыщенный частицами измельчения исходного продукта. Теоретически и экспериментально доказано, что в результате первого удара частицы исходного продукта не разрушаются полностью, а отбрасываются на периферию камеры, где образуют кольцевой воздушно-продуктовый слой. В нем частицы доизмельчаются в результате последующих ударов молотков и истирания. Так как направления скоростей частиц в воздушно-продуктовом кольце и молотков совпадают, то кинетическая энергия удара частиц не всегда может превысить величину энергии разрушения частиц и процесс доизмельчения происходит в основном за счет истирания.

Взаимодействие частиц исходного продукта с рабочими молотками и рифлями броневой плиты (в месте, где измельчение ударом преобладает под другими видами измельчения) происходит в массе частиц подвижного периферийного кольца, что снижает силу ударного взаимодействия. С уменьшением размеров отверстий сит в молотковой дробилке для реализации более тонких помолов плотность и толщина периферийного кольца увеличивается, что влечет за собой еще большее уменьшение силы ударного взаимодействия. Таким образом,

с уменьшением крупности размола готового продукта в дробилке происходит перераспределение фаз измельчения: возрастает удельный вес фазы измельчения истиранием и падает удельный вес фазы измельчения ударом.

Поскольку скорость движения частиц в периферийном кольце велика, вероятность прохождения через отверстия сит достаточно измельченных частиц в таких условиях незначительна и становится тем меньше, чем меньше размеры или живое сечение этих сит. Подвергаясь дополнительному воздействию рабочих органов, такие частицы переизмельчаются, вызывая неоправданный расход энергии.

При работе молотковой дробилки, по схеме замкнутого цикла с просеивающей машиной толщина и плотность внутреннего периферийного кольца уменьшается за счет увеличенных против обычного отверстий рабочих сит. При этом основная масса измельченных частиц сразу же покидает рабочую зону молотковой дробилки, не подвергаясь малоэффективному и энергоемкому истирающему измельчению. Поступающая на вход дробилки смесь исходного и избыточного продуктов подвергается ударному воздействию молотков, рифлей броневой плиты, а также перфорированной ситовой поверхности с силой, превышающей величину ударов в случае прямого измельчения при одной и той же линейной скорости молотков (уменьшается влияние внутреннего периферийного кольца).

Показано, что помимо увеличения производительности измельчающих систем, снижения удельного расхода электроэнергии и обеспечения постоянства крупности готового продукта по верхнему размерному пределу применение замкнутого измельчения позволяет улучшить качество готового продукта за счет перераспределения крупности в сторону увеличения заданного класса частиц и уменьшения в продукте мучнистой фракции.

Характерным для схем замкнутого измельчения является то, что входящая в состав технологического комплекса просеивающая машина выполняет две самостоятельные функции технологической (рабочей) машины и контролирующего органа. Поэтому контроль готового продукта по верхнему

размерному пределу входящих в него частиц носит активный характер. Благодаря этому важнейшему свойству схема замкнутого измельчения рассматривается в работе как наиболее соответствующая требованиям автоматизации. Использование этого свойства освобождает от дополнительного приборного контроля крупности готового продукта по верхнему размерному пределу частиц, что максимально упрощает задачу комплексной автоматизации процессов измельчения той части компонентов, к крупности которых не предъявляется других требований (минеральное сырье; минерально-органические обогатительные смеси).

Показано, что замкнутое измельчение совместно с принципом сортирования промежуточных продуктов измельчения на фракции по схеме анализатора средневзвешенной крупности может рассматриваться также в качестве базы для создания систем автоматического регулирования крупности размола органических продуктов.

В работе сформулированы общие требования к построению технологических схем измельчения сырья в комбикормовом производстве в связи с комплексной автоматизацией этих процессов:

1. Применение в качестве основы для построения схем измельчения замкнутого цикла.
2. Использование способа замыкания цикла через технологическую машину (минуя буферную емкость).
3. Использование в схеме высокоэффективной просеивающей машины.

Анализ особенностей измельчения, учитывающих гранулометрический состав исходного продукта, величину производительности оборудования и технические условия на готовый продукт, позволил сформулировать дополнительные требования к построению схем измельчения отдельно:

- а) минерального сырья;
- б) минерально-органических обогатителей;

в) крупнозернистого органического сырья (зерна, кормовых зерноотходов, дробленных кукурузы в початках и жмыхов и т.д.);

г) мелкодисперсного органического сырья с примесью крупных частиц (кормовых отходов пищевых производств и кормов животного происхождения).

Использование схем измельчения, построенных в соответствии с научно обоснованными требованиями, позволило предложить принципиальные схемы комплексной автоматизации соответствующих процессов и наметить пути построения систем автоматического регулирования крупности размола готового продукта при измельчении органического сырья.

Показано, что такие системы в своей структуре должны предполагать: в качестве датчиков (количественно оценивающих расход каждой из четырех размерных фракций, направляемых в состав готового продукта) систему расходомеров; в качестве регулирующего органа – специальный механизм, отбирающий из числа промежуточных размерных фракций продукт избыточной крупности и направляющий его на повторное измельчение; в качестве регулятора – устройство, непрерывно вычисляющее фактическое значение модуля крупности готового продукта, сравнивающее его с заданным значением и в случае несоответствия этих величин выдающее команду исполнительному механизму на соответствующую перестановку регулирующего органа.

Третья глава посвящена экспериментальному исследованию оптимального измельчающего комплекса как объекта автоматического управления. В результате эксперимента найдены статические характеристики замкнутого цикла (комплекса) и получены исходные данные для последующего аналитического исследования его динамических свойств. При этом получены также данные для сравнительной оценки эффективности режимов ручного и автоматического управления процессом измельчения в функции стабилизации крупности размола готового продукта.

Анализ поведения единичного объема исходного продукта в процессе замкнутого измельчения позволил разработать методику имитирования непрерывного процесса замкнутого измельчения прерывистым процессом измельчения на лабораторной молотковой дробилке, работающей по схеме открытого цикла, при условии сортирования промежуточных продуктов измельчения в каждом отдельном цикле на лабораторном анализаторе средневзвешенной крупности, формирования из полученных размерных фракций готового продукта заданной дисперсности и возврата на повторное измельчение, осуществляемое в последующем цикле, продукта избыточной крупности.

Экспериментальная малогабаритная лабораторная молотковая дробилка обеспечивала возможность установочного регулирования в необходимых пределах всех основных своих параметров.

Загрузка молотковой дробилки определялась по величине реактивного момента статора главного приводного электродвигателя, регулировалась загрузка путем изменения числа оборотов барабанного питателя.

Окружные скорости в опытах имитирования замкнутого измельчения выбирали оптимальными для молотковой дробилки, работающей в режиме прямого измельчения. При этом размер ячеек рабочего сита задавали таким, чтобы образование внутреннего воздушно-продуктового кольца было незначительным, а модуль крупности промежуточных продуктов измельчения был близким 2,6 мм.

Измельчению подвергали зерно пшеницы разных типов и кукурузы.

В работе показано, что величина единичного объема в процессе имитирования может быть выбрана из конкретных условий проведения эксперимента. Поэтому, учитывая незначительную производительность лабораторной молотковой дробилки, величину навески, соответствующую единичному объему исходного продукта, принимали равной 1000 г.

Для отыскания зависимости модуля крупности готового продукта от величины регулирующего воздействия $M = f(\Psi)$ и получения данных для последующего аналитического исследования переходного процесса объекту, внутреннее состояние которого характеризовалось теми или иными установленными значениями модуля крупности, наносили скачкообразные возмущения приращением величины регулирующего воздействия. Показано, что для расчета величины регулирующего воздействия, выраженного в процентах хода регулирующего органа, в условиях имитирования замкнутого измельчения имеет место выражение:

$$\Psi = \frac{100}{3} \left[\sum_{k=1}^Z \left(\frac{Q_B}{Q} \right)_k \right], \quad (1)$$

- где Z - количество размерных фракций, участвующих в формировании готового продукта в данном цикле;
- Q - количество продукта, соответствующее K - той промежуточной размерной фракции в данном цикле;
- Q - количество возвращаемого на повторное измельчение продукта, соответствующее K - той фракции в данном цикле.

Об окончании переходного процесса в объекте судили по стабилизации модуля крупности готового продукта.

Сравнительную оценку режимов ручного и автоматического управления процессом измельчения (для случаев реализации одинакового модуля крупности готового продукта) осуществляли на основе следующих критериев:

производительности при одних и тех же затратах энергии;

содержания в готовом продукте мучнистой фракции;

содержание в готовом продукте класса, соответствующего заданному модулю крупности.

Анализ результатов первой части эксперимента позволил заметить особую реакцию объекта на регулирующее воздействие. В начале переходного процесса имеет место изменение модуля крупности готового продукта до величины, определяемой коэффициентом передачи объекта $K_{об1}$ (первая реакция объекта). Последующее изменение модуля крупности (вторая реакция объекта) возможно до величины, определяемой коэффициентом передачи $K_{об2}$, как следствие добавления к измельчаемому продукту большего или меньшего, по сравнению с предыдущим, количества избыточного продукта переменного гранулометрического состава.

Показано, что для разных установочно регулируемых параметров молотковой дробилки, равно как и разных физических свойств измельчаемого продукта, основная статическая характеристика объекта - это семейство прямых, описываемых уравнением:

$$M = M_0 - \left(\frac{M_0}{100} - 0,005 \right) \Psi, \quad (2)$$

где M_0 - модуль крупности, соответствующий состоянию объекта при $\Psi = 0$ и определяемый установочно-регулируемыми параметрами молотковой дробилки и физическими свойствами исходного продукта.

Выражение при Ψ в уравнении (2) представляет собой коэффициент передачи объекта $K_{об2}$.

Анализ результатов второй части экспериментов позволяет сделать следующие выводы.

Поскольку в случае замкнутого измельчения вероятность прохождения измельченных частиц через рабочее сито молотковой дробилки резко увеличивается, происходит перераспределение фаз измельчения в сторону расширения фазы измельчения ударом (наиболее эффективного и экономичного способа измельчения). Производительность системы в автоматическом режиме управления, при тех же затратах энергии, что и в прямом измельчении, увеличивается на 16-160%. Такое возрастание производительности наиболее ярко проявляется в случае мелкодисперсного измельчения, когда внутреннее воздушно -

продуктовое кольцо в молотковой дробилке, работающей в прямом измельчении, приобретает наибольшую толщину и способно оказать существенное влияние на уменьшение ударного взаимодействия измельчающих частиц с рабочими органами дробилки.

В случае замкнутого измельчения в автоматическом режиме наблюдается значительное (достигающее 39%) увеличение содержания в готовом продукте основного (базового) класса, соответствующего заданному модулю крупности. Одновременно с этим наблюдается уменьшение (достигающее 50%) содержания в готовом продукте сопутствующих классов, в том числе класса 0-1 мм и мучнистой фракции. Происходящее при этом перераспределение в готовом продукте частиц по их крупности в сторону увеличения заданного класса за счет уменьшения сопутствующих классов (в том числе мучнистой фракции) свидетельствует о росте выравненности готового продукта и снижении степени переизмельчения.

Четвертая глава посвящена аналитическому исследованию динамических свойств оптимального измельчающего комплекса как объекта автоматического управления.

В условиях эксперимента, заключающегося в имитировании замкнутого измельчения, были получены данные, характеризующие лишь некоторые динамические свойства измельчающего комплекса, в частности, поцикловое изменение модуля крупности готового продукта после нанесения объекту регулирующего воздействия.

На базе полученных данных и с учетом динамических свойств взаимодействующих друг с другом звеньев объекта: транспортного средства, рабочих органов просеивающей машины, регулирующего органа, чувствительных элементов и связывающих эти звенья самотечных коммуникаций, была синтезирована структурная схема объекта автоматического регулирования.

Анализ полученной структурной схемы позволяет заметить, что временные параметры, характеризующие первую

реакцию объекта на регулирующее воздействие, определяются динамическими свойствами чувствительных элементов и транспортных (самотечных) участков, связывающих эти звенья объекта с регулирующим органом.

Временные параметры, которые характеризуют вторую реакцию объекта, наступающую по истечении времени, необходимого для транспортирования продуктов избыточной крупности от регулирующего органа до молотковой дробилки, определяются динамическими свойствами всего измельчающего комплекса. Поскольку в сортировании и транспортировании продуктов избыточной крупности принимают участие (в зависимости от положения регулирующего органа и диапазона крупности готового продукта) два, три или все четыре рабочих сита просеивающей машины, то структурная схема рассматриваемого участка может принимать три разных вида. Поэтому временные параметры, характеризующие вторую реакцию объекта на регулирующее воздействие, — величины неоднозначные и в зависимости от диапазона крупности готового продукта принимают три разных значения.

На основе полученной структурной схемы объекта автоматического регулирования найдена передаточная функция объекта в развернутом виде. После аппроксимации отрезка, соответствующего второй реакции объекта, на кривой переходного процесса участком чистого запаздывания и апериодическим участком первого порядка получена передаточная функция объекта автоматического регулирования в виде, удобном для последующего использования:

$$W(p) = \frac{-K_{об1} \cdot e^{-p\tilde{t}_0} + e^{-pt} \frac{K_{об1} - K_{об2}}{Tp + 1}}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1}, \quad (3)$$

где \tilde{t}_0 — время перемещения готового продукта по самотечным участкам от регулирующего органа до чувствительных элементов;

t — время транспортного запаздывания, определяющее начало второй реакции объекта;

- T - постоянная времени просеивающей машины, принимающая три разных значения в зависимости от диапазона крупности готового продукта;
- T_1 и T_2 - постоянные времени чувствительных элементов второго порядка (центробежных расходомеров);
- e - основание натуральных логарифмов;
- p - оператор Лапласа.

На основе анализа выражения (3) показано, что по своему проявлению (быстродействию и величине коэффициента передачи) первая реакция объекта носит определяющее значение. Поэтому параметры, характеризующие эту реакцию, должны рассматриваться в качестве исходных при расчете настроек автоматического регулятора.

Пятая глава посвящена разработке и исследованию системы автоматического регулирования крупности размола.

Отмечается, что для реализации предложенного принципа регулирования необходима разработка некоторых технических средств и в первую очередь специального регулирующего органа. Показано, что выполнение его в виде пакета связанных с исполнительным механизмом трех поворотных лопастей (каждая из которых перемещается в своем кожухе) наиболее полно отвечает условиям, при которых остается в силе выражение (1) и обеспечивается вид рабочей характеристики, близкий к линейному.

На основании принципиальных схем автоматизации процессов измельчения разработана структурная схема системы автоматического регулирования, удовлетворяющая сформулированным ранее условиям на разработку систем стабилизации крупности размола готового продукта.

На базе разработанной структурной схемы синтезирована элементная электрическая схема измерительного устройства, в основу которого положена совокупность простейших аналоговых вычислительных блоков трансформаторного и потенциометрического типов. Назначение измерительного

✓ О.В. 1477

устройства регулятора заключается в получении информации от датчиков - расходомеров о количественном значении расходов размерных фракций, направляемых в состав готового продукта, непрерывном вычислении фактического значения модуля крупности, сравнении его с заданным значением и выдаче сигнала регулирующему блоку о несоответствии этих величин.

В работе приводятся результаты экспериментального исследования работоспособности системы автоматического регулирования крупности размола готового продукта, обработки задания в статических и динамических условиях, а также качества автоматического регулирования, полученные на физической модели основного участка объекта с динамическими свойствами, определяющими первую реакцию его на регулирующее воздействие, с привлечением реального автоматического регулятора.

Анализ экспериментальных данных позволяет заметить, что точность обработки задания в статических и динамических условиях, воспроизводящих крайние случаи из возможных в производстве, не ниже соответственно $\pm 0,1$ и $\pm 0,16$ мм в абсолютных значениях средневзвешенной крупности. Анализ кривых переходного процесса, снятых в условиях непостоянства коэффициента передачи объекта $K_{об1}$, позволяет говорить о соответствии качества автоматического регулирования требованиям технологии комбикормового производства. Всякое уменьшение величины $K_{об1}$ в силу каких-либо причин, в том числе из-за непостоянства физических свойств измельчаемых продуктов, против принятого в расчетах значения приводит лишь к увеличению апериодичности переходного процесса в системе.

Моделирование процесса автоматического регулирования крупности размола на аналоговой вычислительной машине позволило исследовать функционирование системы в условиях проявления объектом всех своих свойств в соответствии с передаточной функцией (3).

Результаты эксперимента подтверждают возможность расчета настроек регулятора с учетом лишь первой реакции

объекта на регулирующее воздействие. Вторая реакция объекта, как показывает анализ кривых переходного процесса в системе, не вызывает заметного изменения качества автоматического регулирования крупности размола.

В работе приводятся данные производственных испытаний системы автоматического регулирования крупности готового продукта при измельчении зернового сырья. В результате анализа данных делаются следующие основные выводы. Автоматическое регулирование крупности размола на основе применения замкнутого цикла позволяет повысить производительность измельчения при незначительном увеличении установленной мощности за счет привлечения дополнительных электродвигателей, необходимых для привода просеивающей машины и транспортного средства; улучшить качество готового продукта за счет уменьшения содержания мучнистой фракции, перераспределения частиц по крупности в сторону увеличения заданного класса и устранения частиц крупнее 4 мм; исключить простои оборудования, связанные с заменой рабочих сит для задания нового значения крупности готового продукта; повысить надежность работы молотковой дробилки за счет увеличения толщины рабочего сита без снижения просеивающей способности последнего.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В реферируемой работе делаются следующие выводы и предложения:

1. Важнейшими и наиболее энергоемкими в технологии производства комбикормов процессами, формирующими заданную крупность готовой продукции и определяющими производственную мощность предприятия, являются процессы измельчения исходного сырья.

2. Комплексная автоматизация процессов измельчения является существенным резервом для увеличения производительности измельчающих систем, уменьшения удельного

расхода электроэнергии, повышения качества готовой продукции и создаёт предпосылки для перехода на новую ступень — комплексно-автоматизированное комбикормовое предприятие.

3. Наряду с загрузкой молотковой дробилки крупность размола готового продукта является основной величиной контроля и регулирования процессов измельчения. Разработка систем автоматической стабилизации этой величины в дополнение к применяемым на практике системам автоматического регулирования загрузки молотковых дробилок позволит перейти к комплексной автоматизации процессов измельчения.

4. Результаты анализа различных способов оценки крупности размола продуктов измельчения, применяемых в ряде отраслей промышленности для оперативного контроля и регулирования режима работы измельчающих машин, позволяют считать наиболее целесообразным применение в качестве анализатора крупности просеивающей машины, если ее применение в схеме измельчения оправдано, в первую очередь, технологической необходимостью.

5. Оптимальными с позиций технологической эффективности и подготовленности к автоматизации являются схемы замкнутого измельчения, выгодно отличающиеся от схем прямого измельчения более высокой производительностью, меньшим удельным расходом электроэнергии, большей выравненностью частиц по крупности, меньшим содержанием мучнистой фракции в готовом продукте и другими техническими преимуществами. В частности, эти схемы отличаются возможностью стабилизировать крупность частиц в готовом продукте по верхнему размерному пределу.

6. Возможность активного контроля готового продукта по верхнему размерному пределу частиц при использовании схем замкнутого измельчения освобождает в ряде случаев от привлечения приборного контроля гранулометрического состава готового продукта, что существенно упрощает задачу автоматизации процессов измельчения минеральных и минерально-органических компонентов, в отношении которых требования к крупности определяются ограничением размеров частиц только по верхнему пределу. Комплексная

автоматизация процессов замкнутого измельчения минеральных и минерально-органических продуктов может быть реализована известными способами на базе технических средств, выпускаемых промышленностью.

7. Наиболее рациональным принципом оперативного регулирования крупности размола готового продукта в случае замкнутого измельчения органических компонентов, в отношении которых требования к крупности определяются нормами рассыпного комбикорма и оговариваются рецептурой, является принцип сортирования промежуточных продуктов измельчения на фракции по схеме лабораторного анализатора средневзвешенной крупности и формирования из них продукта заданной дисперсности с одновременным возвращением на повторное измельчение продукта избыточной крупности.

8. Принятие в качестве регулирующего фактора величины расхода возвращаемого на повторное измельчение избыточного продукта может быть положено в основу системы автоматического регулирования крупности размола продуктов на молотковых дробилках, работающих в режиме замкнутого цикла.

9. Результаты исследования статических и динамических свойств замкнутого цикла измельчения характеризуют его как сложный объект автоматического регулирования, поведение которого в переходном процессе определяется двумя последовательными реакциями на регулирующее воздействие.

10. Расчет оптимальных настроек автоматического регулятора может осуществляться по максимальному значению коэффициента передачи объекта и временным параметрам, характеризующим первую реакцию объекта на регулирующее воздействие. Всякое уменьшение вследствие изменения физических свойств исходного продукта фактического значения коэффициента передачи объекта против значения, участвующего в расчете, приведет лишь к увеличению аperiodичности переходного процесса в системе.

11. Применение наряду со средствами общепромышленного назначения специально разработанных технических средств (регулирующего органа и измерительного устройства регулятора) позволяет осуществить систему автоматического

регулирования крупности размола, удовлетворяющую требованиям технологии комбикормового производства.

12. Внедрение систем автоматического регулирования крупности размола в производство позволит на 25-30% повысить производительность измельчающих установок при неизменной затрате электроэнергии, улучшить качество готового продукта, сократить численность обслуживающего персонала и устранить простои оборудования, связанные с заменой рабочих сит дробилок.

13. Внедрение в производство предлагаемых решений по комплексной автоматизации процессов измельчения на комбикормовом заводе, производительностью 200 т/сутки позволит получить около 49 тыс.руб. экономии в год, что обеспечивает быструю окупаемость единовременных затрат, связанных с автоматизацией.

Основные результаты исследования опубликованы в следующих работах:

1. Игнатенко И.И. Анализ комбикормового производства как объекта комплексной автоматизации. Тезисы докладов ХХУП научной конференции. Одесса, ОТИ имени М.В. Ломоносова, 1965.

2. Платонов П.Н., Игнатенко И.И. Автоматизация комбикормовых предприятий. „Мукомольно - элеваторная промышленность“ № 4, 1966.

3. Платонов П.Н., Игнатенко И.И. Анализ подготовленности комбикормового производства к комплексной автоматизации. Комбикормовая промышленность, ЦИНТИ Госкомзага СССР, М., 1966.

4. Платонов П.Н., Игнатенко И.И. Система автоматического регулирования крупности размола на молотковых дробилках замкнутого цикла. Реферативная информация о законченных научно-исследовательских работах в вузах УССР, ЦНИИНТИ, Киев, 1966.

5. Платонов П.Н., Игнатенко И.И. - Автоматическое регулирование крупности размола на молотковых дробилках в режиме замкнутого цикла. „Известия высших учебных заведений. Пищевая технология“ № 5, 1966 г.

6. Платонов П.Н., Игнатенко И.И. Комплексная автоматизация процессов измельчения продуктов на молотковых дробилках комбикормовых предприятий. Тезисы докладов на XXУШ научной конференции. Одесса, ОТИЛ, 1966.

7. Платонов П.Н., Игнатенко И.И. Автоматизация процесса измельчения ингредиентов комбикормов на молотковых дробилках. „Мукомольно-элеваторная промышленность“, № 12, 1967.

Основные результаты исследований докладывались автором:

1. На XXУП научной конференции ОТИ им.М.В.Ломоносова, Одесса, март, 1965.

2. На XXУШ научной конференции ОТИ им.М.В.Ломоносова, Одесса, июль, 1966.

3. На XXIX научной конференции ОТИ им.М.В.Ломоносова, Одесса, апрель, 1967.

4. На областном семинаре по кибернетике и автоматическому управлению. Одесса, апрель, 1967.

5. На Всесоюзной научной конференции по комбикормовой промышленности, Воронеж, октябрь, 1967.