

На правах рукописи

Ю. Н. МИТРОФАНОВ

Разработка системы оптимального управления шахтного зерносушила

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научные руководители:

доктор технических наук, профессор Платонов П. Н.,
кандидат технических наук, доцент Жидко В. И.

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
им. М. В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Ю. Н. МИТРОФАНОВ

Разработка системы оптимального
управления шахтного зерносушила

Перечень 1987

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научные руководители:

доктор технических наук, профессор Платонов П. Н.,
кандидат технических наук, доцент Жидко В. И.

ОНАХТ 06.09.12
Разработка системы о



v000963

v00.0.963

Одесский технологический
институт
им. М. В. Ломоносова

ОДЕССА
1965

Автомат v000963
МИТРОФАНОВ Ю. Н.
СИСТЕМА ОПТИМ.
814

12

Одесский технологический институт им. М. В. Ломоносова направляет Вам автореферат диссертационной работы инженера Ю. Н. Митрофанова на тему «Разработка системы оптимального управления шахтного зерносушила», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Защита состоится „_____“ _____ 196 г.

Ваши отзывы и замечания в 2-х экз. просим направить по адресу: г. Одесса, ул. Свердлова, № 112. Одесский технологический институт им. М. В. Ломоносова.

Ученый секретарь Совета

(Л. А. Запорожец).

Работа выполнена в Одесском технологическом институте имени М. В. Ломоносова.

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость наиболее рационального и эффективного использования материальных, трудовых и финансовых ресурсов ставит особые задачи управления производством. В промышленных объектах получение продукта заданных параметров и качества совсем неоднозначно определяет протекание производственного процесса и стратегию управления. При случайном ее выборе управляемый объект работает малоэффективно со значительным недоиспользованием его возможностей. Поэтому основной задачей управления должно быть, наряду с обеспечением определенных параметров и качества продукции, поддержание одного из показателей процесса (при реализации некоторых требований к остальным) на наиболее низком или высоком практически допустимом уровне. Указанные критерии могут быть различны при одном и том же технологическом процессе, но они явно или скрыто всегда существуют.

Поставленную задачу реализуют оптимальные управляющие системы, непрерывно поддерживающие экстремальные значения показателя цели управления с учетом ограничивающих факторов.

Разработанный в настоящее время неклассический вариационный метод синтеза оптимальных систем применим лишь к объектам со сосредоточенными параметрами. Однако в инженерной практике многие управляемые объекты распределены (агромераторы, дистилляторы, сушила и т. п.) и не могут быть с необходимой точностью представлены сосредоточенными аналогами, общие концепции решения таких оптимальных задач успешно разрабатываются в известных работах А. Г. Бутковского, Б. Н. Девятова и А. И. Егорова.

Значительная сложность аналитического решения распределенных оптимальных задач, связанная с реализацией интегральных уравнений или уравнений в частных производных, вызывает необходимость простых, но достаточно корректных инженерных методов синтеза широко распространенных в практике частных случаев управления. К таким, например, следует отнести важный случай распределенного управления при общности компоненты вектора управления в простран-

ве, который охватывает большинство объектов тепло- и массообмена.

Настоящая работа посвящена решению этой задачи, задачи построения оптимальной, научно обоснованной и предельно эффективной системы управления шахтного сушила.

Во многих отраслях народного хозяйства значительное место в технологическом процессе занимает сушение материалов, зачастую определяющее качество выпускаемой продукции и в отдельных случаях потребляющее большую часть энергии переработки.

В системе хлебозаготовок значительный удельный вес в первичной обработке и хранении зерна занимает процесс сушения. Быстрый подъем и перспективы развития зернового производства требуют значительного увеличения мощности зерносушильного парка страны, повышения производительности действующих зерносушил и строительства новых.

Предварительные расчеты и опытные данные свидетельствуют о далеко не полном использовании возможностей наиболее распространенных шахтных зерносушил и их низких экономических показателях.

Поэтому первоочередной задачей в деле эффективного наращивания мощности зерносушильного парка является разработка систем оптимального управления, систем наибольшей производительности промышленных объектов и низкой себестоимости продукта переработки, систем высокой культуры производства и его поточно-комплексной механизации и автоматизации.

Последовательное изложение этой важной технической проблемы представлено в настоящей диссертации, которая состоит из введения, четырех глав, заключения, кратких выводов, приложений и списка использованной литературы общим объемом 146 страниц машинописного текста и 54 иллюстраций.

Диссертация выполнена в Одесском технологическом институте им. М. В. Ломоносова МВССО УССР.

Глава I.

СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

В первой главе диссертации приведены основные этапы решения проблемы, охарактеризованы задачи оптимальных управляющих систем и дана их укрупненная классификация, а также рассмотрены методы решения оптимальных задач.

Благодаря экономичности и простоте конструкции шахтные зерносушила наиболее широко распространены сравнительно с другими типами. Однако целый ряд их серьезных недостатков (неравномерность сушения, ограниченный влагосъем

и др.), приводивший к невысокой эффективности работы и зачастую снижающий качество продукции, не обеспечивал возможности комплексной автоматизации шахтных сушил и включения в производственный поток, а предпринятые попытки по их замене были мало успешными.

В то же время работы по устранению основных недостатков шахтных зерносушил дали положительные результаты и определили зерносушило шахтной продукции одним из основных типов для автоматизации.

В связи с рассредоточенностью сушильного парка, что неизбежно вследствие огромной площади посевных земель, наибольшее значение имеет простота, надежность, низкая стоимость и несложность эксплуатации сушила и аппаратуры управления. Поэтому решение поставленной задачи: выбор и обоснование наиболее эффективного режима сушения, синтез системы оптимального управления, ее конструктивное исполнение и реконструкция сушила в связи с автоматизацией необходимо проводить с учетом указанных требований и обязательно при сохранении и даже улучшении качественных показателей зернопродукта.

К основным задачам оптимальных систем следует отнести нахождение и поддержание экстремального значения главного показателя процесса при наложении любых ограничений к остальным.

Отмеченная ситуация определяется оператором двух множеств функций, заданных в допустимых областях существования, и наиболее важным вопросом синтеза оптимальных систем является нахождение общей структуры оператора, ибо всякое необоснованное ее сужение в значительной мере снижает ценность решения оптимальной задачи.

В настоящее время известно множество различных типов оптимальных систем, однако, общая точка зрения на их внутреннюю сущность позволила получить достаточно компактную классификацию, определяющую способ получения информации для выработки стратегии управления, характер распределенности управляемого объекта, вид возмущающих воздействий, характер критерия оптимальности и временной признак.

Основная идея синтеза оптимальных систем: нахождение экстремума заданного функционала принадлежит вариационному исчислению.

Однако в общем случае решение оптимальных задач указанным приемом неприемлемо, классические вариационные методы не учитывают важнейшие условия ограничений и безынерционности (кусочной непрерывности) управляющих воздействий.

Все это привело к созданию специальных неклассических методов решения оптимальных задач, из большого числа ко-

торых следует выделить фундаментальные: принцип максимума Л. С. Понтрягина и динамическое программирование Р. Беллмана. Известно, что общее аналитическое определение оптимальной траектории невозможно, поэтому оба метода дают программу вычисления экстремали. Принцип максимума основан на вычислении вдоль траектории способом проб и ошибок, а принцип Беллмана — на методе вычислений для одного шага в фазовом пространстве инвариантным запоминанием, он более трудоемок, однако имеет большую общность решения.

Принцип максимума и динамическое программирование дают метод решения оптимальных задач для сосредоточенных объектов, движение которых описывается обыкновенными дифференциальными уравнениями с начальными условиями, которые в большинстве случаев достаточно хорошо аппроксимируют пространственность процессов. Однако указанные принципы совершенно неприемлемы при исследовании процессов с явно выраженной распределенностью, где наличие информации лишь о выходном эффекте недостаточно для управления вследствие распределенности преобразующего воздействия. К такому случаю распределенности относится ряд инженерных задач, например: обтекание тела струей, агломерация, нанесение покрытий, сушение ленточных и сыпучих тел. Некоторые из них вообще теряют всякий смысл при упразднении распределенности, другие трактуют его столь грубо, что не поддаются анализу усиления свойств эффективности и полноты процесса.

Движение объектов с сосредоточенными параметрами описывается уравнениями в частных производных (или интегральными), поэтому решение оптимальных задач возможно особыми методами, например, при помощи L -проблемы моментов или кусочно-разностных приближений. Здесь важно отметить большую трудоемкость решения и целесообразность его практического упрощения, а также ряд принципиальных положений, как-то: неприменимость некоторых методов в нелинейных задачах, локальность принципа максимума для дискретных распределенных систем и другие.

Выбор того или иного метода решения, таким образом, полностью продиктован сущностью решаемой конкретной задачи.

Глава II.

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ШАХТНОГО ЗЕРНОСУШИЛА

В главе выполнен анализ шахтной зерносушильной установки как объекта управления, рассмотрены методы решения оптимальных задач для объектов с распределенными пара-

метрами и найдено оптимальное управление для шахтного зерносушила с учетом его наибольшей производительности при минимуме удельной стоимости переработки зернопродукта, показана структура управляющей системы и разработано математическое описание процесса сушения в шахтном зерносушиле.

Зерносушильная установка шахтного типа представляет собой туннель прямоугольного сечения (шахту), по которому движется плотная масса сушеного продукта (зерна), входит в контакт с теплоносителем (нагретый газ) и обменивается с ним компонентами сушения (температурой и влажностью).

Процессы сушения капиллярно-пористых материалов, к числу которых относится зерновая масса, характеризуются уравнением тепло- и массообмена в частных производных с переменными коэффициентами параболического типа. Равномерное смешивание обменных компонент в горизонтальном сечении шахты (равномерность распределения теплоносителя по ее объему) осуществляется специальными раздаточными коробами и лопатками, что определяет градиент поля текущих параметров продукта лишь по высоте шахты и приводит общее уравнение сушения к одной пространственной и временной переменным. Процесс сушения зерна неоднозначно характеризуется функциональным распределением энергии теплоносителя вдоль высоты шахты, означающим явную распределенность шахтного зерносушила как объекта управления.

В результате анализа работы сушила определены основные управляемые его параметры: текущая влажность и температура зерна, управляющие: температура тепло-влажностителя и экспозиция сушения и возмущающие воздействия: значение начальной влажности и температуры зерна. При этом особо важен учет ограничивающих факторов.

Общие требования технологии предписывают сушение зерна без потери его качества (в основном, качества клейковины), что определяется косвенным параметром — предельной температурой нагрева зерна. Максимальные значения температуры теплоносителя также ограничены качественными параметрами продукта: явлением «закала» и обугливания.

Режим максимальной экономической эффективности объекта (минимальной себестоимости переработки продукта при необходимых технологических ограничениях) тесно связан с условием максимальной производительности (быстродействия).

Анализ показывает значительное увеличение производительности сушила в оптимальном режиме сушения при некотором росте энергозатрат и снижении себестоимости перера-

ботки зернопродукта, то есть близости указанных оптимальных критериев.

Однако критерий предельного быстродействия не учитывает сложность устройства управления и необходимой реконструкции объекта, стоимость которых отражает себестоимость продукта, поэтому в работе вводится обобщенный, глобальный критерий оптимальности управления зерносушилом, критерий максимальной экономической эффективности. В связи с трудностями аналитического выражения стоимости (сложности) управляющего устройства и реконструкции сушила эта задача решена при помощи некоторой весовой функции в критерии оптимальности, определяемой дискретно расчетным путем, при этом фактически определяется оптимальная ступенчатая аппроксимация управляющей функции.

Наиболее эффективными способами решения одномерно распределенных задач являются преобразование уравнения в частных производных в операторной форме к обобщенным инерционностям объекта или сведение его к конечно-разностной системе. В последнем случае преобразование означает в сущности представление распределенного объекта цепочкой сосредоточенных, что наиболее удобно для применения принципа максимума.

На практике распространен особый случай управления одномерными распределенными объектами при общем компоненте вектора управления для всех сосредоточенных эквивалентов цепочки (управление проходными печами, дистилляционными аппаратами, сушильными агрегатами вариацией скорости движения продукта и энергией воздействующего фактора).

В работе показана возможность оптимального управления в условии максимальной производительности таких объектов лишь при установившемся динамическом состоянии, что налагает ко внешним и внутренним (параметрическим) возмущениям требования «вековых» изменений и ограничивает производительность объекта неоптимальностью переходных режимов. В случае невозможности (или нецелесообразности) обеспечения указанных требований необходимо полное изменение технологической структуры объекта и применение рециркуляционной схемы.

Анализ практических условий работы заготовительных пунктов подтверждает возможность и экономическую целесообразность действия шахтных зерносушил в установившихся динамических режимах.

Распределенность функций состояния объекта требуют для его управления значительной априорной или рабочей информации, в работе исследован информационный критерий системы управления.

В связи с необходимостью поиска оптимального режима как по сосредоточенному участку (горячая зона) сушила, так и вдоль их цепочки способ управления «через объект» становится нереальным и единственно перспективно управление с максимальной информацией: управление «через модель» объекта, характеризующееся практически мгновенностью установления требуемого режима работы и абсолютной устойчивостью при наличии статизма объекта, хотя в общем случае имеющее низкую обобщенную точность работы, структурную сложность и зачастую требующее корректора необходимой мощности.

Согласно принципа максимума для отыскания оптимального режима работы объекта требуется для каждого сосредоточенного участка определение релейной переключающей функции и амплитуды синтезирующей функции, что следует непосредственно из вывода сопряженных гамильтоновых уравнений. Такой общий метод решения предполагает довольно сложную расчетную процедуру и, как следствие, аппаратуру управления. Однако специфика работы шахтного зерносушила позволяет существенно упростить общие методы аналитического решения.

Незначительный влагосъем в холодной, «тормозящей» зоне сушила (2—3% от общей величины) практически стабилизирует значения релейной функции. Распределение амплитуды компоненты синтезирующей функции по высоте шахты имеет сложный характер, но может быть ступенчато аппроксимировано и практически реализовано конечным и небольшим числом горячих зон сушила.

В этих условиях экстремальная фазовая траектория объекта фактически легко определяется из технологических соотношений, однако вектор управления может быть найден при совместном решении уравнений экстремали и движения объекта, полученных на основании законов тепло- и массообмена.

Математическое описание работы шахтного зерносушила в установившемся динамическом состоянии получено из условий кинетики сушения и законов теплопроводности при внутренней диффузии.

Некоторые приближения и экспериментальное определение необходимых коэффициентов позволили определить уравнения сушения, нагрева зерна и ограничивающих факторов в виде алгебраической (конечно-разностной) системы с двумя итерационными циклами решения. Уравнения проверялись в лабораторных и производственных условиях и показали практически достаточную степень точности описания процесса.

Полученные зависимости позволяют определить оптимальные режимы работы сушила при максимальной его экономической эффективности и непосредственно разработать управляющее устройство.

Глава III.

УПРАВЛЯЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ЗЕРНОСУШИЛА

В главе показана структура управляющего устройства, определено в соответствии с обобщенным критерием оптимальности минимальное число горячих зон сушила, найдено схемное решение вычислителя управляющего устройства и преобразователя информации входных параметров объекта, рассмотрены логические операции управляющего устройства и его принципиальная схема.

Математическое описание процесса позволяет найти алгоритм работы управляющего устройства и его структуру, которая имеет довольно сложный вид и может быть реализована вычислителем дискретного действия. Однако и здесь технологическая особенность объекта позволяет провести заметные упрощения решения.

Допустимые отклонения выходной влажности зерна и условия грубости объекта позволяют найти уровни «нечувствительности» (квантования) входных параметров и необходимое число дискрет или режимов сушения, их количество для заданного сорта зернопродукта определилось в 50—100 констант, что на два порядка меньше разрешающей способности даже обычной аналоговой машины.

Уравнение теплового баланса сушила дало возможность вычислить функцию распределения тепловой энергии теплового носителя (синтезирующую функцию) и аппроксимировать ее с погрешностью до 10% в наихудшем случае четырьмя уровнями, то есть определить необходимость четырех горячих зон шахты.

Малое число требуемых режимов сушения, дискретность и простота их команд показали нецелесообразность применения вычислителя дискретного или даже аналогового действия как глубоко избыточного.

Указанное положение, а также необходимость изменения алгоритма управления при сушении зернопродукта другой культуры определили построение вычислителя устройства управления в виде комбинационной схемы или дискретного функционального преобразователя с переменной структурой, заданной в виде таблицы соответствия. Такой преобразователь разработан на электромеханическом принципе по простой схеме, где таблица соответствия закодирована двоичным кодом на обычной перфоленте.

Управляющее устройство включает и некоторые логические операции. Сушение зернопродукта в установившемся динамическом состоянии означает невозможность оптимальной работы устройства в переходном режиме, накладывает определенные требования на его проведение и частоту повторения

и по сути вызывает необходимость подбора партий подаваемого на сушило зерна.

В работе показано, что подбор необходимых партий зерна по разрешенным грациям начальной влажности и температуры обеспечивает работу сушила с малыми (до 10%) потерями в производительности на переходные режимы, проходящие в условиях сохранения качества зерна и не оказывающие заметного влияния на интегральное отклонение его конечной влажности от заданного значения.

Установление правильного подбора партий зерна и проведение переходных режимов без потери его качества, а также координация работой устройства управления осуществлена логическим блоком, включающим отсчетчик времени, элементы памяти и сравнения, а также квантующие устройства, что вместе с функциональным преобразователем представляет несложную и надежно работающую электромеханическую схему.

Сигналы устройства управления вводятся в задатчики обычных регуляторов—исполнительной части системы управления.

Глава IV.

ПОДГОТОВКА ОБЪЕКТА К АВТОМАТИЗАЦИИ

Последняя глава диссертации посвящена вопросам реконструкции шахтного зерносушила, измерения технологических параметров зерна, возможности в практических условиях подбора его необходимых партий для сушения, результатам практических исследований объекта и экономическому эффекту автоматизации сушила.

Применение оптимальных режимов сушения предъявило ряд жестких требований к объекту и вызвало необходимость его реконструкции. Перевод топочного устройства на сжигание жидкого или газообразного топлива, установление равномерной раздачи теплоносителя по коробам шахты, изменение конструкции пристенных зон шахты, улучшение работы выпускного механизма, установление четырех горячих зон и тщательный монтаж шахты практически устранили неравномерность сушения зерна и внутренние параметрические возмущения, что подтверждено многолетними производственными испытаниями объектов в Ленинграде, Киеве и Бийске.

Измерение влажности зерна производилось влагомерами типа ОТИ-2, причем в связи со флуктуацией значений этого параметра применено устройство скользящего интегрирования, определяющее среднее, практически постоянное для подобранной партии зерна значение его влажности, и управляющее работой квантующего устройства.

Измерение температуры зерна связано с некоторыми особенностями. Движение в зерновой массе тепло-влажносителя

им. М. В. Ломоносова, XXV научная конференция, 25 мая—10 июня 1963 г.) .

3. Система оптимального управления шахтных зерносушилок (Одесский технологический институт им. М. В. Ломоносова, XXVI научная конференция, 25 марта — 20 апреля 1964 г.).

4. Оптимальное управление шахтным зерносушилом как системой с распределенными параметрами (Одесский областной семинар по технической кибернетике, 20 мая 1965 г.).

5. Система оптимального управления шахтной зерносушилкой (Всесоюзное научно-техническое совещание по интенсификации процессов сушки в химической и смежных с нею отраслях промышленности. Москва, 20 — 22 октября 1965 г.).

Подписано к печати 17.XI. 65 г. Формат бумаги 60×84/16.

1 печ.л. 1 уч.-изд.л. БР 08699. Зак. № 1989. Тираж 200.

Городская типография управления по печати Одесского Облисполкома.
ул. Чижикова, № 17.
