**Разработка и внедрение автоматизированных систем управления технологического оборудования минипекарень**

Введение

С целью наиболее полного удовлетворения потребности населения в хлеббулочных изделиях расширенного ассортимента и высокого качества необходимо использовать прогрессивные производственные технологии, реконструировать и обновлять производство таким образом, что позволит получить наивысший экономический эффект.

Наиболее полно данная проблема может быть решена путем создания комплексов минипекарен, где наиболее гибко и рационально решаются как технологические, так и экономические задачи.

Комплекс вопросов, связанных с разработкой и внедрением автоматизированных систем управления технологическим оборудованием минипекарен, используемым при производстве хлебобулочных изделий в настоящее время может успешно решаться на базе сформировавшихся научных достижений в области технологии хлебопекарного производства, автоматизации производственных процессов и освоения информационной, измерительной и вычислительной техники.

Технологические процессы хлебопекарного производства характеризуются многокомпонентностью исходного сырья, высокой степенью неопределенности на различных этапах протекания процесса производства пшеничного хлеба, нелинейными зависимостями между параметрами, т.е. являются сложными системами. В большинстве своем они представляют собой сочетание гидродинамических, тепловых, биохимических и механических процессов.

Цель настоящего дипломного проекта заключается в создании такой системы управления расстойным шкафом, входящим в состав комплекса минипекарни, которая позволит полностью использовать внутренние ресурсы перерабатываемого сырья, улучшить качество выпекаемых изделий, уменьшить процент брака и снизить трудоемкость операции расстойки тестовых заготовок.

В в связи с этим в данном дипломном проекте выбраны к рассмотрению следующие вопросы:

описание процесса расстойки тестовых заготовок и требования к системе управления;

разработка полной математической модели процессов в расстойном шкафу;

разработка и идентификация упрощенной математической модели процессов в расстойном шкафу;

выбор элементов и конструкции системы управления;

расчет параметров системы управления, обеспечивающих заданный режим;

автоматизация и технология приемо-сдаточных и периодических испытаний асинхронных двигателей малой мощности (в технологической части);

расчет затрат на ОКР по разработке СУ расстойного шкафа (в экономической части);

безопасность труда при работе с расстойным шкафом (в разделе охраны труда и окружающей среды).

Спецчасть

Описание процесса расстойки тестовых заготовок. Требования к системе управления

Стадии производства хлебобулочных изделий

Процесс производства хлебобулочных изделий делится на три основные стадии:

приготовление теста;

разделка тестовых заготовок;

выпечка хлеба,

которые, в свою очередь, делятся соответственно на технологические операции:

замес теста и его созревание;

деление теста на куски;

округление тестовых заготовок;

предварительная расстойка;

закатка;

окончательная расстойка;

выпечка хлеба.

Описание процесса расстойки тестовых заготовок

Одной из важнейших технологических операций выпечки хлебобулочных изделий является процесс расстойки тестовых заготовок. Расстойка теста является предпоследней стадией производства, на которой происходит окончательная подготовка тестовой заготовки к процессу выпечки.

До процесса расстойки сформированная тестовая заготовка имеет беспористую структуру. Поэтому для протекания процесса релаксации напряжений, разрыхления тестовой заготовки, т.е. придания ей пористой структуры и формы будущего хлеба или хлебобулочного изделия проводится процесс окончательной расстойки. Чтобы данный процесс протекал достаточно интенсивно и без образования подсохшей корочки на поверхности тестовой заготовки, параметры воздуха (Тв, Wв) в расстойном шкафу должны соответствовать определенным значениям температуры и относительной влажности (35-45°С, 75-85%).

При расстойке протекают биохимические, микробиологические, коллоидные и физические процессы.

При поступлении тестовой заготовки в расстойный шкаф на ее поверхности конденсируется влага и интенсифицируется процесс теплопередачи от паровоздушной среды к тестовой заготовке. В результате этого скорость прогрева ее поверхности увеличивается. Влага, покрывающая тестовую заготовку, предотвращает ее от заветривания. Конденсация влаги прекращается по достижении поверхностью тестовой заготовки температуры точки росы.

После удаления диоксида углерода в результате формирования тестовой заготовки, он опять начинает продуцироваться хлебопекарными дрожжами. В начале расстойки процесс газообразования протекает достаточно интенсивно ( участок кривой скорости изменения электрического сопротивления (см. рис. 2.1) до первого экстремума). Это можно объяснить повышением активности дрожжевых клеток в результате насыщения тестовой заготовки кислородом воздуха после ее разделки и частичным удалением продуктов жизнедеятельности дрожжей. При расстойке образующийся диоксид углерода задерживается тестом, что приводит к увеличению его объема и созданию пористой структуры.

Давление пузырьков диоксида углерода, образующихся вокруг дрожжевых клеток, увеличиваясь, приводит к растягиванию клейковинного каркаса и образованию пор, которые при дальнейшем газообразовании увеличиваются в объеме. Выравнивание внутреннего давления между порами осуществляется по капиллярам. В момент увеличения пор в размерах происходит снижение в них внутреннего давления и соответственно снятие внутренних напряжений клейковинного каркаса, т.е. в тесте периодически происходит релаксация накапливающихся напряжений. Это способствует образованию тонкостенной пористой структуры. На релаксацию напряжений оказывают влияние также ферментативные процессы. Изменение температуры тестовой заготовки и ее структуры приводит к изменению кинематической вязкости.

Через определенное время наблюдается спад интенсивности газообразования ( участок кривой скорости изменения электрического сопротивления после первого экстремума максимума). Это объясняется угнетением дрожжевых клеток продуктами их жизнедеятельности. В этот период времени до экстремума минимума скорости изменения электрического сопротивления происходит адаптация дрожжей к новым условиям жизнедеятельности (полностью анаэробным). После этого интенсивность газообразования увеличивается.

Второе экстремальное максимальное значение скорости изменения электрического сопротивления, отражающей динамику формирования структуры тестовой заготовки, соответствует готовности теста, так как далее начинается флуктуация газовыделения, приводящая со временем к уплотнению структуры теста, т.е. к перерасстойке. Готовность тестовой заготовки в данный момент подтверждается экстремальным минимальным значением скорости изменения температуры поверхностного слоя и качеством готового хлеба.

Обменные процессы, происходящие на поверхности тестовой заготовки могут быть также охарактеризованы кривой dT/dt (скорость изменения температуры поверхностного слоя тестовых заготовок в процессе расстойки), вид которой приведен на рис. 2.2. Кривая имеет три ярко выраженных экстремума, каждый из которых характеризует качественные изменения, происходящие в тестовой заготовке в период окончательной расстойки.

При поступлении тестовой заготовки в расстойный шкаф, когда температура заготовки меньше температуры точки росы паровоздушной среды, происходит достаточно сильная конденсация влаги на поверхности тестовой заготовки. Конденсация влаги приводит к ускоренному повышению температуры тестовой заготовки (участок а-б). Достижение экстремума максимума в точке “б” соответствует нагреву поверхности тестовой заготовки до температуры точки росы окружающей среды. Конденсация влаги предотвращает заветривание поверхности и образование трещин при увеличении тестовой заготовки в объеме. Более того, насыщение влагой поверхностного слоя тестовой заготовки обеспечивает закупорку капилляров, что блокирует выделение диоксида углевода из тестовой заготовки и повышает газоудерживающую способность теста.

Замедление прогрева тестовой заготовки на участке “б-в” связан с уносом тепла в процессе испарения влаги с поверхности. Процесс испарения избыточной влаги с поверхности тестовой заготовки совпадает с процессом интенсивного разрыхления тестовой заготовки образующимся диоксидом углерода. Точка “в” - экстремум минимум отражает момент стабилизации структуры теста, определяемой внутренним давлением СО2, реологическими свойствами, соотношением свободной и связанной влаги. Точка “в” - экстремум минимум скорости изменения поверхностного слоя тестовой заготовки является моментом готовности тестовой заготовки к выпечке, так как дальнейшее продолжение расстойки приводит к уплотнению поверхностного слоя за счет увеличения пластической составляющей общей деформации теста и процесса флуктуации газовыделения, за счет снижения газоудерживающей способности теста. Процесс уплотнения поверхностного слоя тестовой заготовки приводит к ускоренному повышению температуры тестовой заготовки, т.е. кривая скорости изменения температуры поверхностного слоя начинает расти. Рост кривой продолжается до точки “г”, после прохождения которой начинается процесс интенсивного газовыделения, связанного с резким снижением газоудерживающей способности теста, вызванной пептизацией белков и увеличением жидкой фазы. После чего тестовая заготовка начинает оседать. В этот период также наблюдается снижение прогрева тестовой заготовки ( участок “г-д” см. рис.). Выпечка хлеба в период времени, соответствующий участку “в‑г”, приводит к получению хлеба худшего качества, чем в момент времени соответствующий точке “в” - экстремум минимум, а на участке “г-д” - приводит к получению брака.

Конструкция расстойного шкафа

Расстойка тестовых заготовок происходит в расстойном шкафу. Расстойный шкаф (см. чертеж) представляет собой однокамерный двухдверный металлический контейнер с теплоизолированными стенками, имеющий габаритные размеры (Ш×Г×В): 1530 мм × 830 мм × 2280 мм, вмещающий две стандартные стеллажные тележки, размером 450 × 660 мм.

В верхней части расстойного шкафа находится отсек, в котором расположена система поддержания температурно-влажностного режима в камере расстойного шкафа, включающая в себя:

герметичную металлическую емкость для воды;

нагревательные элементы (ТЭНы);

циркуляционный вентилятор;

электроклапаны подачи воды;

фильтр поступающей воды;

сливной насос;

трубки системы подачи и слива воды;

воздушные каналы;

рабочие датчики влажности, температуры и уровня воды;

датчики критических значений температуры и уровня воды;

выключатели питания и управления;

задатчики температуры и влажности;

индикатор температуры;

индикаторные лампы рабочих и аварийных режимов;

предохранители и автоматические выключатели;

электронная система управления;

преобразователь частоты;

Органы управления расстойным шкафом и приборы индикации находятся на панели управления, расположенной в верхней части расстойного шкафа.

Двери расстойного шкафа при открытии более чем на 90° остаются в открытом состоянии, а в противном случае - автоматически закрываются. Правильная очередность закрытия дверей обеспечивается автоматическим доводчиком. Для улучшения герметизации и повышения теплоизоляции по периметру дверей проложен магнитный уплотнитель. Двери, как и стенки расстойного шкафа, имеют теплоизоляционный слой.

Расстойный шкаф подключается к системе холодного водоснабжения, канализации и к трехфазной сети переменного тока, напряжением 380 В с заземленной нейтралью.

Требования к системе управления расстойным шкафом

Так как окончательная расстойка является конечной техно­логической операцией, формирующей физико-химические свойства тестовой заготовки и определяющей в большой степени качество готового хлеба, то определение и поддержание опти­мальных параметров расстойки - температуры воздуха Тв, отно­сительной влажности воздуха Wв и продолжительность рас­стойки тестовой заготовки до готовности τр#- имеют большое практическое значение.

Для точного определения технологических параметров расстойного шкафа необходимо иметь современные методы контроля и поддержания температуры и относительной влажности воздуха.

Проектируемая система управления расстойным шкафом должна обеспечивать оптимальные параметры проведения расстойки тестовых заготовок. Для этого необходимо обеспечить непрерывный контроль за температурой и влажностью в расстойном шкафу и обеспечить их поддержание с заданной точностью. При этом желательно предотвратить конденсацию воды на стенках расстойного шкафа и понизить расход энергии на проведение расстойки.

Важной с точки зрения конвекционной теплопередачи является скорость обдувания воздухом тестовых заготовок и нагревательных элементов. Она в большой степени влияет на качество готового продукта. Поэтому в системе управления должна быть предусмотрена возможность изменения скорости обдувания воздухом тестовых заготовок и нагревательных элементов путем регулирования скорости вращения приводного двигателя циркуляционного вентилятора.

Проектируемая система управления должна также обеспечивать безопасность работы расстойного шкафа, предотвращая последствия замыканий и обрывов проводки, перегрев нагревателей, понижение или повышение уровней воды за допустимые пределы.

Разработка полной математической модели процессов в расстойном шкафу

Сведения из теории термодинамики и теплопередачи

Разработка полной математической модели процессов в расстойном шкафу производится по законам термодинамики и теплопередачи (теплообмена).

В учении о теплообмене рассматриваются процессы распространения теплоты в твердых, жидких и газообразных телах. Эти процессы по своей физико-механической природе весьма многообразны, отличаются большой сложностью и обычно развиваются в виде комплекса разнородных явлений.

Перенос теплоты может осуществляться тремя способами: теплопроводностью, конвекцией и излучением. Процесс переноса теплоты теплопроводностью происходит между непосредственно соприкасающимися телами или частицами тел с различной температурой. *Теплопроводность* представляет собой молекулярный процесс передачи теплоты.

Известно, что при нагревании тела кинетическая энергия его молекул возрастает. Частицы более нагретой части тела, сталкиваясь при своем беспорядочном движении с соседними частицами, сообщают им часть своей кинетической энергии. Этот процесс распространяется по всему телу. То есть теплопроводность представляет процесс распространения энергии между частицами тела, находящимися друг с другом в соприкосновении и имеющими различные температуры. Например, если нагревать один конец железного стержня, то через некоторое время температура другого его конца также повысится. Перенос теплоты теплопроводностью зависит от физических свойств тела, от его геометрических размеров, а также от разности температур между различными частями тела. При определении переноса теплоты теплопроводностью в реальных телах встречаются известные трудности, которые на практике до сих пор не решены. Эти трудности состоят в том, что тепловые процессы развиваются в неоднородной среде, свойства которой зависят от температуры и изменяются по объему; кроме того, трудности возникают с увеличением сложности конфигурации системы.

Теплопроводность λ (или коэффициент теплопроводности) характеризует способность данного вещества проводить теплоту.

Q = (T2 - T1)×λ×S/δ - тепловой поток через плоские стенки, где δ - толщина стенки, S - площадь поверхности стенки, (Т2 - Т1) - разность температур на поверхностях стенки.

Второй вид переноса теплоты - *конвекция* - происходит только в газах и жидкостях. Этот вид переноса осуществляется при перемещении и перемешивании всей массы неравномерно нагретых жидкости или газа. Конвекционный перенос теплоты происходит тем интенсивнее, чем больше скорость движения жидкости или газа, так как в этом случае за единицу времени перемещается большее количество частиц тела. В жидкостях и газах перенос теплоты конвекцией всегда сопровождается теплопроводностью, так как при этом осуществляется и непосредственный контакт частиц с различной температурой. Одновременный перенос теплоты конвекцией и теплопроводностью называют *конвективным теплообменомобменом*; он может быть вынужденным и свободным. Если движение рабочего тела вызвано искусственно (вентилятором, компрессором, мешалкой и др.), то такой конвективный теплообмен называют вынужденным. Если же движение рабочего тела возникает под влиянием разности плотностей отдельных частей жидкости от нагревания, то такой теплообмен называют свободным (естественным) конвективным теплообменом.

В большинстве случаев перенос теплоты осуществляется несколькими способами, хотя часто одним или даже двумя способами пренебрегают ввиду их относительно небольшого вклада в суммарный сложный теплоперенос.

При расчете теплопередачи конвекцией между твердым телом и газом (жидкостью) используют выражение

Qконв = (T2 - T1)×α×S,

где α - коэффициент теплоотдачи от твердого тела к газу,

S - площадь поверхности омываемого твердого тела,

Т2 и Т1 - температуры тела и газа.

При расчете теплопередачи через плоскую стенку используют следующее выражение

Qконв = (T2 - T1)×k×S,

где k - коэффициент теплопередачи (характеризует интенсивность теплопередачи от одного теплоносителя к другому через разделяющую их плоскую стенку);

S - площадь поверхности стенки;

(Т2 - Т1) - разность температур на поверхностях стенки.

Коэффициент теплопередачи расчитывается по формуле

,

где δ - толщина стенки;

λ - коэффициент теплопроводности стенки;

α1 - общий коэффициент теплоотдачи к внутренней поверхности стенки;

α2 - общий коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности стенки.

Общие коэффициенты теплоотдачи методически оцениваются одинаково - как сумма коэффициентов теплоотдачи конвекцией (αкон) и излучением (αизл):

αобщ = αкон + αизл .

Для расчета теплоты, необходимой для нагрева тел, пользуются формулой теплоемкости:

Q = c × m × ΔТ,

где с - коэффициент теплоемкости тела;

m - масса тела;

ΔТ - разность начальной и конечной температур тела.

Модель поддержания заданной температуры

Во время работы расстойного шкафа в его камере протекают сложные теплообменные процессы.

Основным источником тепла в расстойном шкафу являются нагревательные элементы (ТЭНы), находящиеся в потоке воздуха, циркуляция которого обеспечивается циркуляционным насосом. Подогретый воздух передает тепловую энергию тестовым заготовкам, прогревая их. Одновременно часть энергии расходуется на прогрев тележек, а часть энергии теряется за счет теплопередачи через стенки расстойного шкафа. При работе системы поддержания заданной влажности вместе с паром в камеру расстойного шкафа также попадает энергия. Следовательно, уравнение теплового баланса расстойного шкафа выглядит следующим образом:

Qвозд = Qтэн + Qпара - Qтеста - Qтел - Qст ,

где Qвозд - теплота затрачиваемая на прогрев воздуха;

Qтэн - тепловой поток с поверхности ТЭНов;

Qпара - количество теплоты, вносимое в камеру расстойного шкафа вместе с паром, необходимым для поддержания в камере расстойного шкафа заданного уровня влажности воздуха;

Qтеста - количество теплоты, идущее на прогрев теста;

Qтел - количество теплоты, идущее на прогрев тележек;

Qст - потеря тепла через стенки.

Теплота, затрачиваемая на прогрев воздуха, может быть описана как:

Qвозд = cвозд ×mвозд ×(dTвозд/dt),

где cвозд - теплоемкость воздуха:

cвозд = (св + cп × dв/1000),

где св - теплоемкость сухого воздуха;

сп - теплоемкость перегретого пара;

dп - влагосодержание воздуха.

Так как влагосодержание влажного воздуха зависит от его температуры и влажности, то и теплоемкость влажного воздуха зависит от этих параметров.

mвозд - масса воздуха в расстойном шкафу;

mвозд = ρвозд × Vвозд ,

где ρвозд - плотность влажного воздуха в камере расстойного шкафа;

Vвозд - объем воздуха в камере расстойного шкафа.

dTвозд/dt - скорость изменения температуры воздуха.

Откуда:



Тепловой поток с поверхности ТЭНов описывается с помощью уравнения конвективной теплопередачи:

Qтэн = αтэн×Sтэн×(Ттэн - Твозд),

где αтэн - коэффициент теплоотдачи ТЭНов;

Sтэн - площадь поверхности ТЭНов;

Ттэн - температура ТЭНов;

Твозд - температура циркулирующего воздуха.

При этом, излишки энергии ТЭНов идут на изменение их температуры:

,

где dT/dt - скорость изменения температуры ТЭНов;

Ртэн - мощность ТЭНов;

Qтэн - тепловой поток с поверхности ТЭНов;

cтэн - теплоемкость материала ТЭНов;

mтэн - масса ТЭНов.

В связи с тем, что в процессе расстойки необходимо поддерживать заданную температуру, ТЭНы включены только пока температура воздуха в камере расстойного шкафа меньше заданной. Как только температура воздуха превышает заданный предел на допустимую величину, система управления подает сигнал на отключение ТЭНов. При этом Ртэн = 0. При падении температуры за нижний предел система управления подает сигнал на включение ТЭНов. При этом Ртэн = Ртэн зад , где Ртэн зад - номинальная мощность ТЭНов.

Тепловой поток, вносимый с паром, расчитывается по формуле:

Qпара = (Ртен вл / r) × hп,

где Ртен вл - мощность ТЭНов, используемых для подогрева и испарения воды, с целью увлажнения воздуха в расстойном шкафу;

r - теплота парообразования воды;

hп - удельная энтальпия насыщенного пара.

Тепловой поток, получаемый тестовыми заготовками и используемый для их прогрева, может быть описан формулой конвективного теплообмена:

Qтеста = αтеста × Sтеста × (Твозд - Ттеста),

где αтеста - коэффициент теплоотдачи поверхности тестовых заготовок;

Sтеста - площадь поверхности тестовых заготовок;

Ттеста - температура тестовых заготовок, скорость изменения которой, с учетом того, что при расстойке в тестовых заготовках выделяется энергия Qтеста выд, составляет:

,

где cтеста - теплоемкость тестовых заготовок;

mтеста - масса тестовых заготовок.

Аналогично, тепловой поток, получаемый тележками и используемый для их прогрева, также может быть описан формулой конвективного теплообмена:

Qтел = αтел × Sтел × (Твозд - Ттел),

где αтел - коэффициент теплоотдачи поверхности тележек;

Sтел - площадь поверхности тележек;

Ттел - температура тележек, скорость изменения которой:

,

где cтел - теплоемкость тележек;

mтел - масса тележек.

Потери теплоты через стенки расстойного шкафа рассчитываются по уравнению теплопередачи:

Qст = kcт × Sст × (Твозд - Тос),

где kст - коэффициент теплопередачи через стенки;

Sст - площадь стенок камеры расстойного шкафа;

Тос - температура окружающей среды.

Следует учесть, что коэффициенты теплоотдачи конвекцией (αтэн, αтеста, αтел) и коэффициент теплопередачи kст (также зависящий от коэффициентов теплоотдачи поверхностей стенок) в свою очередь зависят от многих факторов: от температур поверхностей и омывающей их среды, от скорости движения последней, от ее теплопроводности, вязкости, плотности и теплоемкости (в свою очередь также зависящих от температуры среды), от конфигурации и состояния поверхностей и их геометрических размеров. Нахождение коэффициентов теплоотдачи конвекцией возможно путем решения системы дифференциальных уравнений (Фурье-Кирхгофа, Навье-Стокса, сплошности(непрерывности), дифференциального уравнения теплообмена, описывающего процесс теплоотдачи на границах тела) с прибавлением краевых условий (геометрические условия, характеризующие форму и размеры тела, в котором протекает процесс теплопередачи; физические условия, характеризующие физические свойства среды и тела; граничные условия, характеризующие протекание процесса теплопередачи на границах тела; временные условия, характеризующие протекание процесса во времени). Это возможно лишь в некоторых частных случаях при использовании ряда упрощений, причем полученные решения не всегда согласуются с опытными результатами. Поэтому изучение конвективного теплообмена развивалось, как правило, экспериментальным путем. Однако чисто экспериментальное изучение какого-либо физического явления имеет тот недостаток, что его результаты имеют ограниченную ценность, так как применимы лишь к частному явлению. Это чрезвычайно усложняет эксперимент, заставляя опытным путем проверить зависимость данного явления от ряда факторов, а некоторые явления зависят от многих переменных. На помощь в этих случаях приходит теория подобия, позволяющая в известной степени обобщить полученные опытные результаты, распространить их на целую группу подобных явлений. Подобные системы характеризуются безразмерными комплексами, составленными из характеризующих явление величин, сохраняющими одно и то же численное значение. Такие величины носят название *инвариантов* или *критериев подобия* и обозначаются символами, состоящими из первых букв фамилий ученых, которые их ввели в употребление или вообще работали в данной области. Для определения критериев теплового подобия для передачи тепла в движущейся среде конвекцией используется дифференциальное уравнение теплопроводности Фурье-Кирхгофа совместно с граничным уравнением теплообмена. На основе уравнения подобия процессов определяются соотношения между постоянными подобия, и из которых путем подстановки определяются критерии теплового подобия:

Nu = α × l / λ - число Нуссельта.

Число Нуссельта характеризует собой условия теплопередачи между твердым телом и средой, оно содержит в себе искомую величину - коэффициент теплоотдачи α, коэффициент теплопроводности среды λ и определяющий размер l, характеризующий собой геометрическое подобие.

Ре = υ × l / a - число Пекле.

Число Пекле обычно преобразуется и представляется в виде двух критериев:



Число Рейнольдса Re содержит в себе скорость потока υ и коэффициент кинематической вязкости ν = μ/ρ м2/с, где μ - коэффициент динамической вязкости, характеризует собой ее внутреннее трение; ρ - плотность среды. Число Рейнольдса является критерием гидродинамического подобия, он характеризует собой условия вынужденного движения среды.

Множителями числа Прандтля Pr являются физические параметры - кинематическая вязкость и коэффициент температуропроводности - число Прандтля характеризует собой свойства среды. Оно практически не зависит ни от давления, ни от температуры. Так как коэффициент температуропроводности

a = λ / (c × ρ ),

то Pr = c × ρ × ν / λ ,

где с - теплоемкость среды;

ρ - плотность среды;

λ - коэффициент теплопроводности среды.

Так как мы имеем дело с теплоотдачей в потоке движущейся среды, то кроме теплового подобия, должны быть соблюдены условия гидромеханического подобия. Критерии гидромеханического подобия выделяются из дифференциального уравнения движения несжимаемой вязкой жидкости Навье-Стокса. Это то же число Рейнольдса, а также число Грасгофа:

Gr = β×g×l3×Δt/ν2,

где g - ускорение свободного падения;

Δt - температурный перепад между средой и омываемой ею поверхностью;

β - функция, связывающая изменение плотности среды с температурой.

Число Грасгофа Gr характеризует свободное конвективное движение среды.

Критериальное уравнение теплопередачи конвекцией строится по типу:

Nu = f ( Re , Gr , Pr )

Здесь Nu содержит в себе искомую величину α и является неопределяющим критерием, тогда как критерии Re, Gr, Pr - определяющими.

Для газов одинаковой атомности и, в частности, для воздуха, когда Pr = const, будем иметь:

Nu = F ( Re , Gr ).

А при вынужденном турбулентном движении газа, что имеет место в расстойном шкафу при обтекании потоком воздуха нагревателей, когда естественной конвекцией можно пренебречь, выпадает число Грасгофа:

Nu = F ( Re ).

Значение критической скорости, при которой происходит переход от ламинарного режима течения воздуха к турбулентному, соответствующее числу Рейнольдса Re = 2200, равно:

υкр = 2200 × ν / d.

При работе расстойного шкафа в установившемся режиме в нем происходят постоянные колебания температуры в установленных пределах. Это объясняется работой системы управления. То есть не только при прогреве, но даже в установившемся режиме коэффициенты теплоотдачи поверхностей ТЭНов, тележек и стенок не являются постоянными и не подлежат однозначному точному математическому описанию.

Еще большую проблему представляет нахождение коэффициента теплоотдачи поверхностей тестовых заготовок. Это связано с тем, что при поступлении тестовых заготовок в расстойный шкаф они прогреваются значительно медленнее, чем циркулирующая в камере шкафа паровоздушная среда. Когда температура заготовок оказывается меньше температуры точки росы паровоздушной среды, на их поверхности конденсируется влага, многократно увеличивая коэффициент теплоотдачи и интенсифицируя процесс теплопередачи от паровоздушной среды к поверхности тестовых заготовок, в результате чего скорость прогрева их поверхности увеличивается. Влага, покрывающая тестовые заготовки, также предотвращает их от затвердевания и от образования трещин при увеличении тестовых заготовок. Конденсация влаги прекращается по достижении поверхностью тестовых заготовок температуры точки росы (в свою очередь зависящей от постоянно меняющихся температуры и влажности циркулирующего в камере расстойного шкафа воздуха). Коэффициент теплоотдачи поверхности тестовых заготовок при этом уменьшается, что влечет за собой уменьшение интенсивности их прогрева. Таким образом, строгое математическое описание коэффициента теплоотдачи поверхности тестовых заготовок не представляется возможным.

Модель поддержания заданной влажности воздуха

Относительная влажность воздуха в расстойном шкафу находится по уравнению:

ϕвозд = ρп / ρmax ,

где ρmax - максимально возможная абсолютная влажность воздуха при данной температуре;

ρп - действительная абсолютная влажность ненасыщенного воздуха, скорость изменения которой (dρп/dt) может быть выражена как:

,

где Vвозд - объем циркулирующего в расстойном шкафу влажного воздуха;

Gпотерь - расход пара на конденсацию на стенках камеры расстойного шкафа и на поверхности тестовых заготовок;

Gпара - расход пара на увлажнение воздуха в камере расстойного шкафа:

Gпара = Ртен вл / r ,

где r - теплота парообразования воды;

Ртен вл - мощность ТЭНов, используемых для подогрева и испарения воды, с целью увлажнения воздуха в расстойном шкафу.

В связи с тем, что в процессе расстойки необходимо поддерживать заданную влажность, данные ТЭНы включены только пока относительная влажность воздуха в камере расстойного шкафа меньше заданной. Как только относительная влажность воздуха превышает заданный предел система управления подает сигнал на отключение ТЭНов увлажнения. При этом Ртэн вл = 0. При падении относительной влажности ниже предельной, система управления подает сигнал на включение ТЭНов увлажнения. При этом Ртэн вл = Ртэн вл зад, где Ртэн вл зад - номинальная мощность ТЭНов увлажнения.

Максимально возможная абсолютная влажность воздуха (ρmax) зависит от температуры циркулирующего в камере расстойного шкафа воздуха, а теплота парообразования воды (r) зависит от температуры воды. И если последняя в установившемся режиме работы расстойного шкафа практически неизменна, то температура воздуха меняется в заданном диапазоне и в установившемся режиме работы расстойного шкафа. А ρmax довольно существенно зависит от температуры воздуха. То есть даже в установившемся режиме работы расстойного шкафа ρmax будет существенно меняться и эти изменения не описываются с большой точностью математически.

Потери пара на конденсацию (Gпотерь) происходят не всегда, а только при условии, что внутренняя поверхность стенок камеры расстойного шкафа или поверхность тестовых заготовок имеют температуру меньшую, чем температура точки росы (tр) при данных условиях.

Конденсацию пара на стенках можно практически предотвратить сделав достаточной теплоизоляцию стенок расстойного шкафа. Напротив, конденсация пара на поверхности тестовых заготовок является неотъемлемой частью технологического процесса расстойки тестовых заготовок, напрямую влияющей на качество готовой продукции, и происходит в первой половине процесса расстойки, до момента достижения поверхностью тестовых заготовок температуры точки росы. В свою очередь, температура точки росы зависит от влажности и температуры воздуха в камере расстойного шкафа. Таким образом, математическое описание потерь пара на конденсацию не представляется возможным.

Из всего вышеизложенного становится ясно, что полная математическая модель не пригодна для написания по ней алгоритма программы и самой программы для ЭВМ с целью моделирования процессов протекающих в расстойном шкафу и выбора параметров системы управления, удовлетворяющих заданным требованиям.

Разработка и идентификация упрощенной математической модели процессов в расстойном шкафу

Принятые упрощения и допущения

В формулах конвекционной теплопередачи присутствуют коэффициенты теплоотдачи α. Как было показано ранее, коэффициенты теплоотдачи зависят от многих факторов: от температур поверхности и омывающей ее среды, скорости движения последней, ее теплопроводности, вязкости, плотности и теплоемкости, от конфигурации и состояния поверхности и омывающей ее среды. В связи с невозможностью математического описания данных коэффициентов, для их нахождения пользуются экспериментальными данными, широко используя теорию подобия, позволяющую в известной степени обобщить полученные опытные результаты. Но используемые для нахождения коэффициентов теплоотдачи критериальные уравнения содержат критерии подобия (Nu, Pe, Re, Pr, Gr), которые зависят от многих параметров поверхностей и омывающей их среды, некоторые из которых зависят от температуры среды и от разности между ней и температур омываемых ею поверхностей. Данные зависимости не описаны математически. Конденсация влаги на поверхности тестовых заготовок в процессе их расстойки еще больше затрудняет точное нахождение коэффициента теплоотдачи их поверхности.

Конденсация влаги на поверхности тестовых заготовок, а также на внутренней поверхности стенок камеры расстойного шкафа приводит к уменьшению абсолютной и относительной влажности в камере расстойного шкафа. Для поддержания заданной относительной влажности воздуха применяется испарение воды, контролируемое проектируемой системой управления. Но вместе с паром в камеру расстойного шкафа попадает дополнительная энергия. Конденсацию влаги на внутренней поверхности стенок камеры расстойного шкафа можно свести к минимуму путем их лучшей теплоизоляции. Так как найти точное количество конденсируемой на поверхности тестовых заготовок влаги не представляется возможным, то точное количество испаряемой воды и зависящее от него количество вносимой с паром энергии не поддается математическому описанию. Следует учесть, что конденсация влаги на поверхности тестовых заготовок происходит только в период. пока температура поверхности тестовых заготовок не достигнет температуры точки росы для данных параметров среды, то есть в первой половине операции расстойки. Далее конденсация прекращается, и необходимость в испарении воды для увлажнения воздуха в расстойном шкафу отпадает.

Также не является математически описуемым и коэффициент теплоемкости влажного воздуха (свозд), зависящий от его температуры и влажности.

Таким образом, для расчета термодинамических процессов в камере расстойного шкафа и анализа работы проектируемой системы управления на ЭВМ необходимо принять меры по обеспечению возможности данного расчета, так как расчет на ЭВМ по полной математической модели не представляется возможным.

В связи с этим нами были приняты следующие упрощения и допущения:

Коэффициенты теплоотдачи расчитываются по экспериментальным критериальным уравнениям. Учитывая, что температура воздуха в расстойном шкафу в установившемся режиме работы поддерживается системой управления в установленных пределах относительно заданной температуры (Тзад), то параметры воздуха для нахождения критериев подобия берутся при неизменной температуре, равной заданной температуре (Тзад) в камере расстойного шкафа.

Коэффициент теплоемкости влажного воздуха расчитывается для заданных значений его температуры и относительной влажности.

Энергия, вносимая с паром, не учитывается. Это возможно благодаря допущению о полном отсутствии конденсации в установившемся режиме работы расстойного шкафа.

Камера расстойного шкафа считается абсолютно герметичной.

Давление воздуха в камере расстойного шкафа постоянное (p=const).

Рассматривается нагрев и охлаждение термически тонких тел ( α << λ ⁄ δ ).

Система поддержания влажности не рассматривается.

Уравнение теплового баланса расстойного шкафа

Уравнение теплового баланса расстойного шкафа:

Qвозд = Qтэн - Qтеста - Qтел - Qст ,

где Qвозд - теплота затрачиваемая на прогрев воздуха;

Qтэн - тепловой поток с поверхности ТЭНов;

Qтеста - количество теплоты, идущее на прогрев теста;

Qтел - количество теплоты, идущее на прогрев тележек;

Qст - потеря тепла через стенки.

Распишем все составляющие этого уравнения.

Теплота, затрачиваемая на прогрев воздуха

может быть описана как:

Qвозд = cвозд × mвозд × (dTвозд / dt),

откуда:

,

где dTвозд/dt - скорость изменения температуры воздуха.

cвозд - теплоемкость воздуха:

cвозд = (св + cп × dв/1000),

где св - теплоемкость сухого воздуха, при температуре 40°С :

св = 1005 Дж/(кг×гр);

сп - теплоемкость перегретого пара:

сп = 2000 Дж/(кг×гр);

dп - влагосодержание воздуха, при температуре 40°С и относительной влажности 75% оно равно:

dп = 36,9 г/кг;

Таким образом:

cвозд= (1005+2000×36,9/1000) =1079 Дж/(кг×гр); mвозд - масса воздуха в расстойном шкафу;

mвозд = ρвозд × Vвозд ,

где ρвозд - плотность влажного воздуха в камере расстойного шкафа, при температуре 40°С и относительной влажности 75%:

ρвозд = 1,11 кг/м3;

Vвозд - объем воздуха в камере расстойного шкафа:

Vвозд = 2 м3;

Таким образом:

mвозд = 1,11 × 2 = 2,22 кг;

Тепловой поток с поверхности ТЭНов

описывается с помощью уравнения конвективной теплопередачи:

Qтэн = Ктэн × (Ттэн - Твозд),

где Ттэн - температура ТЭНов;

Твозд - температура циркулирующего воздуха.

Ктэн - коэффициент, расчитываемый по формуле:

Ктэн = αтэн × Sтэн ,

где Sтэн - площадь поверхности ТЭНов:

Sтэн = lтэн × π × dтэн ,

где lтэн = 2 м - длина ТЭНов;

dтэн = 0,006 м - диаметр ТЭНов,

Откуда:

Sтэн = 2 × π × 0,006 = 0,0377 м2;

αтэн - коэффициент теплоотдачи ТЭНов. Данный коэффициент расчитывается по критериальному уравнению:

Nu = 0,238 × Ref0,6 ,

где Ref - число Рейнольдса, вычисляемое:

Ref = υ × dтэн / ν,

где υ - скорость потока воздуха:

υ = 5 м/c

dтэн - диаметр ТЭНов - их определяющий размер:

dтэн = 0,006 м;

ν - коэффициент кинематической вязкости, для воздуха при температуре 40°С :

ν = 16,96 × 10-6 м2/с.

Таким образом:

Ref = 5 × 0,006 / 16,96×10-6 = 1769,

Следовательно:

Nu = 0,238 × 17690,6 = 21,15 ,

Откуда:

αтэн = Nu × λ / dтэн ,

где λ - коэффициент теплопроводности воздуха, при температуре 40°С:

λ = 2,76×10-2 Вт/(м×гр),

Значит:

αтэн = 21,15 × 2,76×10-2 / 0,006 = 97 Вт/(м2 × гр).

Таким образом:

Ктэн = 97 × 0,0377 = 3,6568 Вт/гр

и

Qтэн = 3,6568 × (Ттэн - Твозд).

При этом, излишки энергии ТЭНов идут на изменение их температуры:

,

где dT/dt - скорость изменения температуры ТЭНов;

Ртэн - мощность ТЭНов.

Pтэн = 2000 Вт

Обоснование выбора такой мощности ТЭНов приведено в разделе 6

Qтэн - тепловой поток с поверхности ТЭНов;

cтэн - теплоемкость материала ТЭНов, для ТЭНов изготовленных из кантала А-1:

cтэн = 470 Дж/(кг×гр);

mтэн - масса ТЭНов:

mтэн = ρтэн × lтэн × π × dтэн2 / 4 ,

где lтэн = 2 м - длина ТЭНов;

dтэн = 0,006 м - диаметр ТЭНов,

ρтэн = 7100 кг/м3;

Откуда:

mтэн = 7100 × 2 × π × (0,006)2 / 4 = 0,4 кг,

В связи с тем, что в процессе расстойки необходимо поддерживать заданную температуру, ТЭНы включены только пока температура воздуха в камере расстойного шкафа меньше заданной. Как только температура воздуха превышает заданный предел на величину допустимого отклонения, система управления подает сигнал на отключение ТЭНов. При этом Ртэн = 0. При падении температуры за нижний предел система управления подает сигнал на включение ТЭНов. При этом Ртэн = Ртэн зад , где Ртэн зад - номинальная мощность ТЭНов.

Тепловой поток, получаемый тестовыми заготовками

Тепловой поток, получаемый тестовыми заготовками и используемый для их прогрева, может быть описан формулой конвективного теплообмена:

Qтеста = Ктеста × (Твозд - Ттеста),

где Ктеста = αтеста × Sтеста ,

где Sтеста - площадь поверхности тестовых заготовок:

Sтеста = 2×10×0,45×0,66 = 6 м2;

αтеста - коэффициент теплоотдачи поверхности тестовых заготовок, расчитывается по экспериментальной критериальной формуле:

Nu = 0,216 × Re0,8,

где Re - число Рейнольдса, вычисляемое по формуле:

Re = υ × lтест / ν,

где υ - скорость потока воздуха:

υ = 0,4 м/c

lтест - определяющий размер тестовых заготовок:

lтест = 0,25 м;

ν - коэффициент кинематической вязкости, для воздуха при температуре 40°С :

ν = 16,96 × 10-6 м2/с.

Таким образом:

Re = 0,4 × 0,25 / 16,96×10-6 = 5900,

Следовательно:

Nu = 0,216 × 59000,8 = 224,46 ,

Откуда:

αтеста = Nu × λ / lтест ,

где λ - коэффициент теплопроводности воздуха, при температуре 40°С:

λ = 2,76×10-2 Вт/(м×гр),

Значит:

αтеста = 224,46 × 2,76×10-2 / 0,25 = 24,8 Вт/(м2 × гр).

Таким образом:

Ктеста = 24,8 × 6 = 148,8 Вт/гр

и

Qтеста = 148,8 × (Твозд - Ттеста),

где Ттеста - температура тестовых заготовок, скорость изменения которой, с учетом того, что при расстойке в тестовых заготовках выделяется энергия Qтеста выд, составляет:

,

где cтеста - теплоемкость тестовых заготовок:

cтеста = 3000 Дж/(кг×гр)

mтеста - масса тестовых заготовок:

mтеста = nтест заг × mтест заг ,

где nтест заг =120 шт. - число тестовых заготовок;

mтест заг = 0,46 кг - масса тестовой заготовки;

Откуда:

mтеста = 120 × 0,46 = 55,2 кг,

Тепловой поток, получаемый тележками

Аналогично, тепловой поток, получаемый тележками и используемый для их прогрева, также может быть описан формулой конвективного теплообмена:

Qтел = Ктел × (Твозд - Ттел),

где Ктел = αтел × Sтел ,

где Sтел - площадь поверхности тележек:

Sтел = 2 × (10×0,45×0,66 + 4×4×0,02×1,8) = 7 м2;

αтел - коэффициент теплоотдачи поверхности тележек, расчитывается по экспериментальной критериальной формуле:

Nu = 0,064 × Re0,8,

где Re - число Рейнольдса, вычисляемое по формуле: Re = υ × lтел / ν,

где υ - скорость потока воздуха:

υ = 0,4 м/c

lтел - определяющий размер тележек:

lтел = 0,66 м;

ν - коэффициент кинематической вязкости, для воздуха при температуре 40°С :

ν = 16,96 × 10-6 м2/с.

Таким образом:

Re = 0,4 × 0,66 / 16,96×10-6 = 15566,

Следовательно:

Nu = 0,064 × 155660,8 = 144,52 ,

Откуда:

αтел = Nu × λ / lтел ,

где λ - коэффициент теплопроводности воздуха, при температуре 40°С:

λ = 2,76×10-2 Вт/(м×гр),

Значит:

αтел = 144,52 × 2,76×10-2 / 0,66 = 6 Вт/(м2 × гр).

Таким образом:

Ктел = 6 × 7 = 42 Вт/гр

и Qтел = 42 × (Твозд - Ттел),

где Ттел - температура тележек, скорость изменения которой:

,

где cтел - теплоемкость тележек:

cтел = 500 Дж/(кг×гр);

mтел - масса тележек:

mтел = 50 кг.

Потери теплоты через стенки расстойного шкафа

рассчитываются по уравнению теплопередачи:

Qст = Кст × (Твозд - Тос),

где Тос - температура окружающей среды.

Кст = kcт × Sст ,

где Sст - площадь стенок камеры расстойного шкафа:

Sст = (1,85×(1,4+0,7)+1,4×0,7)×2 = 9,73 м2;

kст - коэффициент теплопередачи через стенки:

,

где δст - толщина стали стенок расстойного шкафа:

δст = 0,001 м;

δутепл - толщина утеплителя:

δутепл = 0,03 м;

λст - коэффициент теплопроводности стальных стенок расстойного шкафа:

λст = 45 Вт/(м×гр);

λутепл - коэффициент теплопроводности утеплителя:

λутепл = 0,1 Вт/(м×гр);

α1 - общий коэффициент теплоотдачи к внутренней поверхности стенок расстойного шкафа;

α2 - общий коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности стенок расстойного шкафа.

Общие коэффициенты теплоотдачи методически оцениваются одинаково - как сумма коэффициентов теплоотдачи конвекцией (αкон) и излучением (αизл),

αобщ = αкон + αизл ,

где *первая составляющая*:

αкон = Nu × λ / hст ,

где λ - коэффициент теплопроводности воздуха;

hст - определяющий размер стенок камеры расстойного шкафа - их высота:

hст = 1,85 м;

Nu - коэффициент подобия Нуссельта:

Для омывания газами вертикальных поверхностей:

Nu = 0,15×(Grвозд×Prвозд)1/3,

где Pr - число Прандтля характеризует собой свойства среды;

Gr = β×g×hст3×Δt/ν2 - число Грасгофа,

где g - ускорение свободного падения;

Δt - температурный перепад между средой и омываемой ею поверхностью;

β - функция, связывающая изменение плотности среды с температурой. Для газов можно принять:

β = 1/T;

ν - коэффициент кинематической вязкости среды.

*вторая составляющая* общего коэффициента теплоотдачи:

,

где εст - степень черноты стенок:

εст = 0,9;

Тст - температура стенок, ° С;

δст - постоянная Стефана-Больцмана:

δст = 5,67 Вт/(м2×К4).

Исходя из того, что температура на внутренней и внешней поверхности стенок расстойного шкафа является неизвестной величиной, принимаем в *первом приближении*:

α1 = α2 = 10 Вт/(м2×гр);

Тогда коэффициент теплопередачи через стенки расстойного шкафа составит:



откуда

Qст = 2 × ( 40 - 20 ) × 9,73 = 390 Вт.

При этих данных температура на внутренней поверхности стенок камеры расстойного шкафа составит

,

аналогично, на наружной поверхности

,

Во *втором приближении*:

Для внутренней поверхности стенок:

Pr1 = 0,699 (при T = 40 ° С)

Учитывая, что при T = 40°С

νвозд = 16,96×10-6 м2/c ,

получим:

Тогда:

Nu1=0,15×(Gr1×Pr1)1/3=0,15×(2,7596×109×0,699)1/3=186,724

Откуда, учитывая, что при T = 40°С

λвозд = 2,756×10-2 Вт/(м×гр),

получим

αкон1 = Nu1×λвозд/hст=186,724×2,76×10-2/1,85 = 2,79 Вт/(м2×гр)

Значение коэффициента теплоотдачи излучением:



Следовательно, общий коэффициент теплоотдачи к внутренней поверхности стенок расстойного шкафа составляет

α1 = αкон1 + αизл1 = 2,79 + 6,14 = 8,93 Вт/(м2×гр).

Аналогично, для внешней поверхности стенок расстойного шкафа:

Pr1 = 0,703 (при T = 20 ° С)

Учитывая, что при T = 20°С

νвозд = 15,06×10-6 м2/c ,

получим:

Тогда:

Nu2=0,15×(Gr2×Pr2)1/3=0,15×(3,7388×109×0,703)1/3=207

Откуда, учитывая, что при T = 20°С

λвозд = 2,59×10-2 Вт/(м×гр),

получим

αкон2 = Nu2×λвозд/hст=207×2,59×10-2/1,85 = 2,898 Вт/(м2×гр)

Значение коэффициента теплоотдачи излучением:



Следовательно, общий коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности стенок расстойного шкафа составляет

α2 = αкон2 + αизл2 = 2,898 + 5,24 = 8,14 Вт/(м2×гр).

Коэффициент теплопередачи через стенки расстойного шкафа во втором приближении составит:



откуда потери теплоты через стенки расстойного шкафа:

Qст = 1,87 × ( 40 - 20 ) × 9,73 = 363,8 Вт.

При этих данных температура на внутренней поверхности стенок камеры расстойного шкафа составит

,

аналогично, на наружной поверхности

,

Степень расхождения между первым и вторым приближениями для каждой из этих температур:

δт’ = 100 × ( 36 - 35,8 )/ 36 = 0,6%;

δт’ = 100 × ( 24,6 - 24 )/ 24 = 2,5%.

Это допустимо. В этой связи результаты второго приближения принимаем за окончательные.

Для них выполним проверку на наличие или отсутствие конденсации пара из парогазовой среды на внутренней поверхности стенок камеры расстойного шкафа. Во избежание нежелательной конденсации пара необходимо, чтобы температура на внутренней поверхности стенок Т’cт превышала температуру точки росы Тр:

Т’cт > Тр.

Для оптимальных (расчетных параметров) расстойки - температуры парогазовой среды 40 °С и относительной влажности 75%, согласно данным таблиц, температура точки росы

Тр = 34,5°С.

Отсюда следует, что в нашем случае конденсация пара на внутренней поверхности стенок в установившемся режиме работы расстойного шкафа отсутствует.

Окончательная формула потери теплоты через стенки расстойного шкафа, с учетом того что

Кст = kcт × Sст = 1,87 × 9,73 = 18,2 Вт/гр,

запишется как

Qст = 18,2 × (Твозд - Тос),

где Тос - температура окружающей среды.

Система дифференциальных уравнений

Таким образом, для моделирования работы системы управления расстойным шкафом необходимо решить систему дифференциальных уравнений:

ΔT = Tзад - Tвозд - сигнал рассогласования;

;

Qтэн = 3,6568 × (Ттэн - Твозд);

dTтэн/dt = (2000 - Qтэн)/(470 × 0,4);

Qтеста = 148,8 × (Твозд - Ттеста);

dTтеста/dt = (Qтеста + 100)/( 3000 × 120);

Qтел = 42 × (Твозд - Ттел);

dTтел/dt = Qтел / (500 × 50);

Qст = 18,2 × (Твозд - Тос);

Qвозд = Qтэн - Qтеста - Qтел - Qст ;

dTвозд/dt = Qвозд /(1079×2,22).

Расчет и идентификация процессов протекающих в расстойном шкафу

Для расчета термодинамических процессов происходящих в камере расстойного шкафа при расстойке тестовых заготовок, а также для выбора параметров СУ обеспечивающих заданный режим, была разработана программа для ЭВМ, моделирующая работу системы управления расстойным шкафом. Блок-схема данной программы приведена на чертеже, а текст программы приведен в Приложении 1. По результатом работы программы были построены переходный процесс и фазовый портрет (см. рис.4.1, рис.4.2 и графики). При этом мощность ТЭНов и допуск на отклонение температуры воздуха в камере расстойного шкафа от заданного значения были выбраны исходя из результатов исследований, изложенных в разделе 6. Из графика переходного процесса видно, что, после выхода в установившийся режим, температура циркулирующего в камере расстойного шкафа воздуха поддерживается на заданном уровне, не выходя за пределы заданного допуска, а температура поверхности тестовых заготовок достигает заданной к окончанию времени расстойки. Это говорит о правильности расчетов и верности выбора параметров СУ.

Также была проведена идентификация разработанной модели СУ расстойного шкафа с работающим образцом. Отклонения параметров работы модели от образца оказались небольшими, что указывает на правильный выбор допущений и упрощений, сделанных в процессе разработки данной модели.

Делаем вывод, что упрощенная математическая модель может быть с успехом использована для расчета параметров работы расстойного шкафа и его системы управления.

Выбор элементов и конструкции системы управления расстойным шкафом

Состав системы управления

Исходя из требований, предъявляемых к системе управления расстойным шкафом, входящим в состав минипекарни, в данном дипломе была выбрана следующая конструкция СУ, представленная на чертежах.

В состав данной системы управления входят следующие элементы:

Блок подогрева и увлажнения циркулирующего воздуха

Конструктивные элементы

Герметичная металлическая емкость ;

Верхняя крышка;

Крышка ТЭНов;

Крышка датчиков уровня воды;

Нагревательные элементы (ТЭНы)

ТЭН подогрева воздуха;

ТЭН подогрева воды;

Элементы систем подачи и слива воды

Фильтр поступающей воды;

Электроклапан подачи воды;

Электроклапан подачи воды для очистки от накипи;

Наливные и сливные трубопроводы;

Сливной насос;

Элементы системы циркуляции влажного воздуха

Циркуляционный вентилятор;

Приводной мотор циркуляционного вентилятора (асинхронный трехфазный двигатель 4АМ80Л4);

Воздуховод;

Датчики

Датчик температуры циркулирующего воздуха;

Датчик относительной влажности циркулирующего воздуха;

Датчик предельно допустимой температуры ТЭНов;

Датчики уровня воды

Датчик максимального уровня воды;

Датчик минимального уровня воды, при котором начинается ее доливка;

Датчик опасного, вследствие оголения ТЭНов поддержания влажности, уровня воды;

Блок электронной системы автоматического управления

Автоматический отключатель;

Предохранители;

Преобразователь частоты ACS 301-2P1-3 фирмы АББ;

Система автоматического управления;

Реле включения ТЭНов

Реле включения ТЭНа поддержания температуры циркулирующего воздуха;

Реле включения ТЭНа поддержания относительной влажности циркулирующего воздуха;

Трансформатор для питания мотора сливного насоса;

Задатчики

Задатчик скорости вращения циркуляционного вентилятора;

Задатчик допуска поддерживаемой температуры;

Разъемы

Разъем питания;

Разъем датчиков;

Разъем панели управления;

Разъем сервисный, служащий для наладки, контроля и поиска неисправности в системе управления расстойным шкафом;

Панель управления

Выключатели

Выключатель питания;

Выключатель управления;

Задатчики

Здатчик температуры;

Задатчик влажности;

Индикатор температуры;

Индикаторные лампы

Лампа включения питания;

Лампа возникновения неисправности;

Лампа включения сливного насоса;

Лампа включения ТЭНа поддержания температуры циркулирующего воздуха;

Лампа включения ТЭНа поддержания относительной влажности циркулирующего воздуха;

Принцип работы системы управления расстойным шкафом

При включении выключателя питания СУ расстойным шкафом запускает мотор циркуляционного вентилятора, который обеспечивает циркуляцию воздуха в камере расстойного шкафа. При этом на панели управления загорается лампа включения питания. Скорость вращения мотора циркуляционного вентилятора, влияющая на скорость циркуляции воздуха, задается с помощью задатчика скорости циркуляционного вентилятора и поддерживается с помощью преобразователя частоты. Одновременно происходит слив воды из блока подогрева и увлажнения циркулирующего воздуха с последующим набором новой воды и переходом в режим очистки ТЭНов поддержания влажности от накипи, путем их кратковременного включения с непрекращающимся сливом и набором воды. Во время этой операции на панели управления горит лампа Слив/Очистка.

При включении выключателя управления СУ переходит в режим поддержания температуры и относительной влажности, заданных задатчиками температуры и влажности.

При недостаточной температуре циркулирующего воздуха в камере расстойного шкафа система управления выдает сигнал на включение ТЭНов поддержания температуры, которые, находясь в потоке циркулирующего воздуха, нагревают его, а он, в свою очередь, передает энергию тестовым заготовкам, расположенным на тележках в камере расстойного шкафа. О работе ТЭНов поддержания температуры воздуха информирует соответствующая лампа на панели приборов, горящая при включенных ТЭНах. При превышении температуры циркулирующего воздуха заданной с помощью задатчика температуры на панели управления на величину допуска, установленного задатчиком допуска на поддерживаемую температуру, система управления выдает сигнал на отключение ТЭНов поддержания температуры. Циркулирующий в камере расстойного шкафа воздух за счет потерь энергии через стенки и на прогрев тестовых заготовок и тележек начинает охлаждаться. При понижении его температуры до нижнего значения допуска, система управления выдает сигнал на включение ТЭНов подогрева воздуха. Таким образом обеспечивается поддержание заданной температуры циркулирующего в камере расстойного шкафа воздуха.

Поддержание относительной влажности циркулирующего в камере расстойного шкафа воздуха происходит аналогично. При недостаточной влажности система управления выдает сигнал на включение ТЭНов поддержания влажности, которые, находясь в воде, нагревают ее. При этом испарившаяся часть воды идет на увлажнение циркулирующего в камере расстойного шкафа воздуха. При достижении заданной с помощью задатчика относительной влажности на панели управления влажности воздуха система управления выдает сигнал на отключение, а при ее понижении (за счет конденсации) на величину допуска - на включение ТЭНов поддержания влажности. О работе ТЭНов поддержания относительной влажности воздуха в камере расстойного шкафа информирует соответствующая лампа на панели приборов, горящая при включенных ТЭНах. Уровень воды в блоке увлажнения и нагрева поддерживается автоматически.

Система управления обеспечивает безопасность работы расстойного шкафа. Для предотвращения последствий коротких замыканий электрические цепи питания снабжены автоматическими отключателями и предохранителями. Для предотвращения поражения обслуживающего персонала пекарни электротоком выполнено защитное зануление. Для предотвращения перегрева ТЭНов поддержания температуры предусмотрен датчик допустимой температуры данных ТЭНов, а для предотвращения перегрева ТЭНов поддержания влажности предусмотрен датчик контроля минимально допустимого уровня воды в блоке подогрева и увлажнения. При любой неисправности система управления отключает все работающие устройства и подает сигнал путем зажигания на панели управления лампы неисправности.

Расчет параметров СУ, обеспечивающих заданный режим

Выбор мощности ТЭНов

Мощность ТЭНов в системе управления расстойным шкафом должна удовлетворять следующим условиям:

Должен быть обеспечен быстрый выход в установившийся режим работы расстойного шкафа;

Периодичность циклов включения-выключения ТЭНов не должна быть очень высокой и слишком низкой;

Допустимая температура нагрева ТЭНов не должна превышаться.

Путем перебора нескольких значений мощности ТЭНов поддержания температуры воздуха в камере расстойного шкафа и последующего расчета переходного процесса с помощью программы (см. Приложение 1) было выяснено, что оптимальной для данного объема камеры расстойного шкафа и заданного допуска на отклонение поддерживаемой температуры является мощность ТЭНов, равная

Pтэн =2000 Вт.

При такой мощности ТЭНов поддержания температуры воздуха процесс выхода в установившееся состояние занимает примерно 15 минут, периодичность циклов включения‑выключения составляет около 2-х минут, а перегрев ТЭНов выше максимально допустимой температуры не происходит.

Выбор мощности ТЭНов поддержания влажности воздуха в камере расстойного шкафа произведем из условия, что нагрев испаряемой воды с температуры начала расстойки до температуры кипения должен происходить не более чем за 5÷10 мин с начала процедуры расстойки:

Tтэн вл = cводы × mводы × (100 - T1)/t,

где cводы - теплоемкость воды:

cводы = 4200 Дж/(кг×гр);

mводы - масса воды в блоке увлажнения и подогрева:

mводы = 5 кг;

T1 - температура воды в начале расстойки:

T1 = 20°С.

Тогда:

Tтэн вл = 4200 × 5 × (100 - 20)/ 450 = 3733 Вт.

Выбираем Tтэн вл = 4000 Вт.

Выбор допуска на отклонение температуры

При моделировании процессов в расстойном шкафу было выяснено, что необходимо выбирать допуск на отклонение поддерживаемой температуры от заданной, по границам которого система управления включает и выключает ТЭНы, меньше чем данный в задании. Это связано с тем, что при поддержании температуры в камере расстойного шкафа присутствуют большие запаздывания, вызванные характером моделируемого объекта. По результатам моделирования с различными допусками на отклонение температуры стало ясно, что оптимальным для данного случая является допуск на отклонение поддерживаемой температуры в 2 раза более строгий, чем данный в задании. Такой допуск обеспечивает невыход температуры за допустимые пределы и, в то же время, не делает слишком коротким цикл включения-выключения ТЭНов, что положительно сказывается на их ресурсе и ресурсе включающих их реле.

Расчет циркуляционного вентилятора

Подбор циркуляционного вентилятора осуществляется по его объемной производительности (Vцир) и напору (Нцир).

Объемная производительность расчитывается по формуле:

Vцир = υвозд × fшк / 2 ,

где υвозд - скорость движения воздуха в камере расстойного шкафа:

υвозд =0,4 м/c

fшк - площадь живого сечения камеры расстойного шкафа:

fшк = 1 м2,

тогда

Vцир = 0,4 × 1 / 2 = 0,2 м3/c.

Напор определяется путем аэродинамического расчета газового тракта циркулирующей среды по формуле:

Нцир = 1,2 × ∑ ΔP,

где ΔP - основные местные сопротивления:

ΔP = ξ × υвозд2 × ρвозд,

где ξ - коэффициент местного сопротивления;

ρ - плотность циркулирующего воздуха.

Расчет местных сопротивлений приведен в таблице 6.1

Таблица 6.1

Расчет местных сопротивлений

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер участка | ρвозд, кг/м3 | υвозд, м/с | ξ | ΔP, Па |
| 1 | 1.11 | 10 | 0.5 | 55.5 |
| 2 | 1.11 | 10 | 2.5 | 277.5 |
| 3 | 1.11 | 5 | 0.25 | 6.94 |
| 4 | 1.08 | 5 | 1.15 | 31.05 |
| 5 | 1.08 | 20 | 0.42 | 181.44 |
| 6 | 1.08 | 30 | 0.47 | 456.84 |
| 7 | 1.08 | 30 | 1.15 | 1117.8 |
| 8 | 1.08 | 30 | 1 | 972 |
| 9 | 1.11 | 0.4 | 2.3 | 0.41 |
| Итого: |  |  |  | 3099 |

Откуда:

Нцир = 1,2 × 3099 = 3719 Па.

Этот напор при объемной производительности

Vцир = 0,2 м3/c

может обеспечить центробежный вентилятор с приводным мотором мощностью:

Nэл = Vцир × Нцир / ηцир ,

где ηцир - КПД приводного двигателя циркуляционного вентилятора: ηцир = 0,75.

Тогда: Nэл = 0,2 × 3719 / 0,75 ≅ 1000 Вт.

Технологическая часть

Автоматизация процесса испытаний асинхронных двигателей малой мощности

При серийном и массовом производстве естественно стремление максимально автоматизировать производственный процесс, который включает в себя и этап испытания электрических машин. Исследования показали, что трудоемкость контрольных операций составляет до 13% трудоемкости изготовления электродвигателей. Средние нормы времени на проведение приемо-сдаточных одной электрической машины средней мощности составляет 3 ... 35 ч (для различных типов машин). На проведение приемочных испытаний одной электрической машины требуется 48 ... 250 ч. Средние нормы времени на обработку результатов приемо-сдаточных испытаний одной машины составляют 0,6 ... 4 ч, а на обработку приемочных испытаний - 40 ... 90 ч. Естественно, что столь высокая трудоемкость проведения испытаний и обработки их результатов заставляет искать пути автоматизации испытаний и использования ЭВМ.

Автоматизация испытаний электрических машин позволяет получить объективные и достоверные результаты испытаний, ускорить проведение контрольных измерений и повысить производительность труда. ЭВМ используются не только для обработки результатов испытаний, но и при управлении процессом испытаний, статистическом контроле и анализе результатов испытаний (не только при выборочном, но и при сплошном контроле). Из всех видов электрических машин наибольший объем выпуска имеют асинхронные низковольтные двигатели. Поэтому в первую очередь был автоматизирован процесс испытаний асинхронных двигателей.

Автоматизированная установка для проведения приемо-сдаточных и периодических испытаний асинхронных двигателей малой мощности

В данном дипломном проекте для испытания асинхронного двигателя применяется автоматизированная установка с использованием ЭВМ, блок-схема которой, показана на чертеже.

На установке автоматизированные испытания электродвигателя проводятся по следующей программе: измерение сопротивления обмоток; снятие характеристики короткого замыкания, механической и рабочей характеристики холостого хода.

Испытуемый двигатель закрепляют на нагрузочной установке, предназначенной для совмещения вала двигателя с осью маховых масс, создающих динамическую нагрузку. Вал двигателя соединяется с валом датчика частоты вращения.

Снятие механических и рабочих характеристик производят в процессе разгона электродвигателя. При этом сопротивление обмоток соответствует установившейся температуре, полученной при испытании на нагревание. Эта температура достигается автоматически в режиме короткого замыкания. Для проведения опыта холостого хода электродвигатель отсоединяют от маховых масс.

Электронно-вычислительная машина в соответствии с записанной программой осуществляет управление испытательным процессом, переводит испытуемый электродвигатель в различные испытательные режимы, коммутирует измерители, принимает информацию от измерителей электрических и неэлектрических величин, осуществляет необходимые вычисления и выдает обработанную информацию на печать. Измеритель электрических величин посылает через соответствующие блоки ЭВМ мгновенные значения измеряемых величин через равные промежутки времени с большой частотой. В ЭВМ эти данные обрабатываются и выдаются на печатающее устройство или графопостроитель. Для построения кривых используются действующие значения измеренных электрических величин.

Процесс автоматизации испытаний проводится в два этапа. Цель первого этапа - повышение точности определения характеристик электродвигателей и сокращение малопроизводительного труда. На этом этапе проводят испытания электродвигателей на нагревание и определяют сопротивления обмоток при постоянном токе и в холодном состоянии, характеристики холостого хода, рабочие, короткого замыкания и механическую, а также вероятность безотказной работы.

На втором этапе операции снятия показаний приборов заменены обработкой информации на мини-ЭВМ.

Программа испытаний

Для асинхронных двигателей ГОСТ 183-74 предписывает программу приемочных испытаний, определяющую:

измерения сопротивления изоляции обмоток по отношению к корпусу машины и между обмотками и сопротивлений обмоток при постоянном токе в практически холодном состоянии;

определение коэффициента трансформации(для двигателя с фазным ротором);

испытания изоляции обмоток на электрическую прочность относительно корпуса машины и между обмотками и на электрическую прочность межвитковой изоляции обмоток статора и фазного ротора;

определение тока и потерь холостого хода;

определение тока и потерь короткого замыкания;

испытания машины при повышенной частоте вращения и на нагревание;

определение КПД, коэффициента мощности и скольжения ;

испытание на кратковременную перегрузку по току;

определение максимального вращающего момента, минимального вращающего момента в процессе пуска, начального пускового вращающего момента и начального пускового тока (для двигателей с короткозамкнутым ротором);

измерения вибраций и уровня шума.

Определение коэффициента трансформации, тока и потерь холостого хода и короткого замыкания

Определение коэффициента трансформации

Коэффициент трансформации находят, используя измерения линейных напряжений на зажимах обмоток статора и на кольцах неподвижного ротора с разомкнутой обмоткой. Для низковольтных электродвигателей (с номинальным напряжением до 660 В включительно) к обмотке статора подводят номинальное линейное напряжение. Коэффициент трансформации определяют как отношение фазных напряжений статора Uф1 и ротора Uф2:

kT=Uф1/Uф2.

Определение потерь холостого хода

Эти испытания производят в режиме холостого хода при установившемся тепловом состоянии частей электродвигателя. Если невозможно установить установившееся тепловое состояние подшипников непосредственным измерением их температуры, то этого достигают путем вращения электродвигателей без нагрузки при номинальной частоте вращения. После окончания обкатки добиваются постоянства потребляемой мощности.

При опыте холостого хода измеряют линейное напряжение U0л между всеми фазами, частоту сети, линейный ток I0л статора в каждой фазе и потребляемую мощность.

Опыт холостого хода начинают с напряжения, равного 130 % от номинального. В процессе опыта обычно производят 9-11 измерений при различных значениях линейного напряжения. Для правильного определения потерь в обмотке статора при опыте холостого хода необходимо непосредственно после опыта измерить сопротивление обмотки статора.

Коэффициент мощности холостого хода вычисляется как:

cosϕ0=P0/(  U0лI0л ).

Результаты опыта холостого хода обычно изображают графически - путем построения зависимости потерь P0, фазного тока I0 и коэффициента мощности cosФ0 в функции напряжения.

При опыте холостого хода допускается не более чем 2 % отклонение частоты сети от номинальной, но результаты измерений следует пересчитать на номинальную частоту. Для этого измеренные напряжения пересчитывают пропорционально первой степени частоты, потери в стали пропорционально 1,5 частоты и механические потери пропорционально квадрату частоты.

При приемо-сдаточных испытаниях измеряют ток и потери холостого хода лишь при номинальном значении напряжения.

Определение тока и потерь короткого замыкания.

При опыте короткого замыкания на статор подается напряжение, ротор затормаживается, а в случае фазного ротора обмотки закорачиваются накоротко на кольцах. Напряжение, подаваемое на статор, должно быть практически симметрично и номинальной частоты.

В процессе опыта одновременно измеряют подводимое напряжение, ток статора (линейный ток Ik короткого замыкания), потребляемую мощность Pk (kBт), начальный пусковой момент (для электродвигателей малой и средней мощности), а непосредственно после опыта определяют сопротивление r1k обмотки статора между выводами, соответствующее температуре в конце опыта. Начальный пусковой момент Mп=Mк (Нм) измеряют при опыте динамометром или весами на конце рычага (которым заторможен ротор, закрепляемым шпонкой на свободном конце вала двигателя, или весами балансирной машины.

Для электродвигателей его определяют расчетно по измеренным потерям Рk короткого замыкания (численно равным мощности, потребляемой при опыте):

Мк=0.9\*9550Ркм2/nc,

Ркм2-потери в обмотке ротора при опыте короткого замыкания, кВт; 0,9 - коэффициент, ориентировочно учитывающий действие высших гармоник.

Потери (кВт) в обмотке ротора при опыте короткого замыкания:

Pкм2=Рк-Ркм1-Рс ,

где Ркм1- потери в обмотке статора при опыте короткого замыкания, кВт ; Рс- потери в стали, определяемые из опыта холостого хода, кВт.

Потери в обмотке статора при опыте короткого замыкания:

Ркм1=Ik2 r1k/1000.

Для получения зависимостей (необходимых при приемочных и других полных испытаниях) потребляемой мощности Рк, тока Ik, коэффициента мощности сosϕк и начального пускового момента Мк от напряжения Uk, приложенного к двигателю в режиме короткого замыкания, проводят 5...7 отсчетов при разных значениях этого напряжения.

В процессе приемо-сдаточных испытаний ток и потери короткого замыкания измеряют при одном значении напряжения короткого замыкания:

Uk=UH/3,8 ,

где UH- нормальное напряжение двигателя.

Во время проведения опыта короткого замыкания первый отсчет рекомендуется проводить при следующих значениях напряжения короткого замыкания в зависимости от UH:

UH,В ... 127 220 380 440 500 660 3000 6000 10000

UK,В ... 33 58 100 115 130 173 800 1600 2640

Второй отсчет - при напряжении (1-0,1) UH. Требуемое напряжение Uk подают начиная с минимального значения. Во избежание чрезмерного нагрева обмоток токами короткого замыкания рекомендуется отсчет по приборам при каждом значении подведенного напряжения производить за время не более 10с, а после отсчета двигатель сразу отключать.

По данным опыта короткого замыкания определяют коэффициент мощности:

cosϕk = Pk/(  Uk Ik ).

Коэффициент мощности можно найти и по отношению показаний двух ваттметров (а1/а2), воспользовавшись рис.7.1. Для этого на оси ординат откладывают полученное значение отношений двух ваттметров (а1 и а2 - деления шкалы ваттметров) с учетом знака этого отношения проводят для этого значения горизонтальную прямую до пересечения с линией cosϕ (или sinϕ), сносят точку пересечения на ось абсцисс, по шкале оси абсцисс определяют искомое значение cosϕ (или sinϕ).

Для графического изображения результатов опыта короткого замыкания откладывают в функции от напряжения следующие величины: ток короткого замыкания Iк, потери короткого замыкания Рк, коэффициент мощности cosϕк и вращающий момент при коротком замыкании Мк. Если опыт короткого замыкания проведен при пониженном напряжении, то при определении тока и вращающего момента, соответствующих номинальному напряжению, вводят поправку на насыщение путей потоков рассеяния, строя зависимость тока короткого замыкания от напряжения (рис. 7.2).

Возрастание тока от напряжения принимают идущим по касательной; определяют точку пересечения касательной с осью абсцисс Uк1. Тогда ток короткого замыкания при номинальном напряжении Iк.н , называемый начальным пусковым током, находят по формуле:

IK.H=(UH - UK1 ) IK/(UK - UK1)

где IK,UK - соответственно наибольшие ток, А, и напряжение, В, измеренные в процессе опыта; UH - номинальное напряжение, В.

Вращающий момент при коротком замыкании, соответствующий номинальному напряжению, называемый начальным пусковым вращающим моментом МКН, определяют

МКН = (IКН/IК)2×МК ,

где Мк- вращающий момент при наибольшем напряжении опыта короткого замыкания, Нм.

Начальный пусковой ток и начальный пусковой момент можно также определить при пуске, а начальный пусковой момент, кроме того, измеряют при снятии статической кривой момента. Величина начального пускового момента зависит от относительного положения зубцов статора и ротора в момент измерения. Поэтому за величину начального пускового момента принимают наименьшее из измеренных его значений.

Определение КПД, коэффициента мощности и скольжения по рабочей характеристике

Рабочая характеристика, то есть зависимость потребляемой мощности, тока, скольжения, КПД и коэффициента мощности от полезной мощности, снимается при неизменных и номинальных приложенным напряжении и частоте, изменяющейся нагрузке от холостого хода до 110 % номинальной (5-7 значений), и температуре, близкой к установившейся при номинальной нагрузке. В процессе опыта измеряют линейные напряжения Uн и ток I, потребляемую мощность Р1 и скольжение s двигателя. По результатам измерений определяют коэффициент мощности.

Для контроля коэффициент мощности находят по отношению показаний двух ваттметров.

Сумма потерь асинхронного двигателя вычисляется как:

РΣ=Рм1+Рм2+Рс+Рмех+РД,

где Рм1 , Рм2 , Рс , Рмех , РД - потери собственно в обмотках статора, ротора и стали; механические и добавочные потери.

Если рабочую характеристику нет возможности снять при номинальном напряжении, тогда ее определяют при напряжении 0.5UH<=Ur<=1.15UH. Полученные результаты испытаний в этом случае можно привести к номинальному напряжению по следующим формулам:

s1=sr; P1=P1r(UH/Ur)2;

I=Ir(UH/Ur )+ΔI0;

ΔI0=I0sinϕ0 - I0r(UH/Ur)sinϕ0r ,

где sr , Ir , I0r , ϕ0r - величины соответственно скольжения, потребляемой мощности, тока, тока холостого хода и угол между векторами тока и напряжения, измеренные при холостом ходе и напряжении Ur; s1, P1, I, I0, sinϕ0 - аналогичные величины при номинальном напряжении.

Значение тока при номинальном напряжении:

.

Определение максимального и минимального вращающих моментов

Определение максимального вращающего момента

Максимальный вращающий момент - один из основных показателей асинхронной машины. Так как только кратность максимального вращающего момента и превышение температуры частей электродвигателя ограничивают возможности повышения мощности двигателя в данном габарите. Поэтому определять величину максимального вращающего момента следует с достаточно высокой точностью.

Максимальный вращающий момент находят следующими способами: определением кривой вращающего момента при пуске; непосредственным измерением вращающего момента при нагрузке электродвигателя; вычислением вращающего момента по мощности на валу и частоте вращения при нагрузке электродвигателя (при этом мощность на валу находят при помощи тарированной нагрузочной машины или методом отдельных потерь) и по круговой диаграмме, построенной по результатам опытов холостого хода и короткого замыкания.

При определении максимального вращающего момента находят соответствующее этому моменту скольжение (допускается применение тахометра).

Определение кривой вращающего момента при пуске.

Этот способ используется обычно для нахождения максимального момента электродвигателей большой мощности, когда осуществить нагрузку испытуемого двигателя с помощью нагрузочной машины не представляется возможным. Для определения кривой вращающего момента испытуемый двигатель пускают вхолостую, а процесс пуска записывается с помощью ЭВМ. Основная трудность проведения этого опыта - кратковременность периода пуска электродвигателей. Для удлинения периода пуска увеличивают момент инерции испытуемого двигателя, соединяя его с другой электрической машиной, ротор которой служит добавочной маховой массой, или с тяжелым маховиком; или за счет понижения подводимого к испытуемому двигателю напряжения, но не менее 0,5 от номинального.

Обычно фиксируется угловое ускорение, пропорциональное вращающему моменту. При этом возникают следующие трудности. Напряжение в процессе пуска не остается неизменным вследствие изменения пускового тока в функции скольжения, поэтому полученные значения вращающего момента должны быть пересчитаны на номинальное напряжение пропорционально квадрату напряжения.

Кроме того, искажающее влияние на начальную часть процесса пуска оказывают переходные процессы при включении, а на машины с подшипниками скольжения - еще и высокое значение их начального момента трения. Для устранения искажающих воздействий прибегают к предварительному вращению испытуемого двигателя в противоположном направлении, затем, изменяя чередование фаз, реверсируют двигатель и записывают кривую вращающих моментов. Масштаб момента определяется по значению начального пускового момента, получаемого из опыта короткого замыкания. При записи кривой момента при реверсировании начальный пусковой момент соответствует частоте вращения, равной нулю.

Способ определения максимального вращающего момента непосредственным измерением вращающего момента при нагрузке.

Этот способ наиболее точен, хотя для машин большой мощности, трудно осуществим. В качестве нагрузки используют балансирную машину или электромагнитный тормоз. Рекомендуется определять максимальный момент при номинальном напряжении. Для электродвигателей мощностью свыше 100 кВт допускается определение максимального момента при пониженном напряжении с последующим пересчетом пропорционально квадрату отношения напряжений. Обычно из-за влияния насыщения показатель степени для пересчета вращающего момента превышает 2. Более точные результаты можно получить, определяя максимальный момент при нескольких значениях напряжения, и на основании этого найти показатель степени зависимости вращающего момента от напряжения.

Наиболее часто в качестве балансирной нагрузочной машины используют генератор постоянного тока. Если генератор работает с неизменным возбуждением и нагрузочным сопротивлением, то зависимость момента от частоты вращения будет прямолинейной, исходящей из начала координат, с угловым коэффициентом, пропорциональным квадрату магнитного потока Ф. Такой вид нагрузочной характеристики позволяет определить точку, в которой вращающий момент испытуемого двигателя имеет максимальную величину. Однако часто приходится снимать всю кривую М = f(s), включая ее неустойчивую часть, для оценки провалов кривой моментов, вызванных влиянием синхронных и асинхронных моментов от высших гармоник. В этом случае вид нагрузочных кривых должен быть иным, чтобы обеспечить устойчивые точки пересечения с кривой момента испытуемого двигателя. Этого можно добиться, например, изменяя возбуждение генератора при работе его на общую сеть постоянного тока.

Вычисление максимального вращающего момента по мощности на валу и частоте вращения при нагрузке электродвигателя.

Испытуемый асинхронный двигатель механически соединяют с генератором постоянного тока с независимым возбуждением, работающим на сеть с регулируемым напряжением. Изменение нагрузки двигателя производят регулирование напряжения сети, на которую работает нагрузочный генератор. Отсчеты производят при установившихся показаниях приборов. Предварительно снимают две характеристики машины постоянного тока: холостого хода при постоянной частоте вращения в генераторном режиме и зависимость тока холостого хода от частоты вращения I0 = f(n) при постоянном значении тока возбуждения (это значение тока возбуждения остается неизменным при определении максимального вращающего момента) в двигательном режиме без испытуемого двигателя.

Для определения искомой кривой зависимости вращающих моментов асинхронного двигателя от частоты вращения при испытании измеряют ток якоря генератора постоянного тока Iя è ÷астоты вращения испытываемого двигателя n(об/мин).

Величину вращающего момента (Нм) находят как:

М=9,55Е0(Iя+I0)/n ,

где Е0-ЭДС холостого хода.

По полученной кривой М = f(n) определяем максимальный вращающий момент.

Определение минимального вращающего момента.

Достаточно точное определение величины минимального вращающего момента асинхронного двигателя имеет важное значение, так как снижение его ниже допустимого по стандарту может привести к “застреванию” электродвигателя на малой частоте вращения при пуске под нагрузкой. Такой режим работы близок к режиму короткого замыкания и является аварийным.

Минимальный вращающий момент определяют одним из следующих способов:

из кривой вращающего момента, снятой с помощью регистрирующего прибора в процессе пуска;

при непосредственной нагрузке балансирной машины или генератором постоянного тока с независимым возбуждением, работающим на сеть с регулируемым напряжением (при нагрузке с помощью генератора постоянного тока вращающий момент определяют непосредственно или с помощью тарированного генератора) и при непосредственной нагрузке тарированной асинхронной машиной, работающей в режиме противовключения и включенной в сеть с регулируемым напряжением.

Первые два способа дополнительных пояснений не требуют. Третий способ основан на том, что вращающий момент нагрузочной асинхронной машины работающей в режиме противовключения, остается практически постоянным в диапазоне скольжений от 1 до скольжения, соответствующего минимальному вращающему моменту, и зависят только от величины напряжения, подводимого к нагрузочной машине. Для избежания провалов в кривой М = f(n) нагрузочной асинхронной машины в режиме электромагнитного тормоза рекомендуется в этой машине увеличить воздушный зазор между статором и ротором путем дополнительной обработки ротора по наружному диаметру, в цепь фазного ротора следует включить дополнительные активные сопротивления, а в цепь статора - дополнительно индуктивное сопротивление. Испытания проводят следующим образом:

Нагрузочная асинхронная машина работает в режиме противовключения, то есть магнитное поле ее вращается в сторону противоположную вращению ротора, что создает соответствующий тормозной момент для испытуемого двигателя. Тормозной момент регулируют подводимым к нагрузочной машине напряжением при помощи источника регулируемого напряжения. Нагрузочную асинхронную машину следует заранее протарировать, то есть определить зависимость вращающего момента на валу от подводимого к машине напряжения при работе ее в режиме электромагнитного тормоза. При этом необходимо убедиться в отсутствии значительных колебаний величины тормозного момента нагрузочной машины при фиксированном напряжении в диапазоне скольжения от 1 до 2. Одну и ту же протарированную нагрузочную асинхронную машину вследствие постоянства момента при заданном напряжении можно использовать при испытании асинхронных двигателей с разными номинальными частотами вращения.

Для определения минимального вращающего момента на нагрузочную машину подают пониженное напряжение, соответствующее определенному значению тормозного вращающего момента. Одновременно с нагрузочной машиной включают на номинальное напряжение испытываемый двигатель. Если минимальный вращающий момент испытываемого двигателя меньше тормозного вращающего момента нагрузочной машины, то агрегат задержится на промежуточной частоте вращения, а если минимальный вращающий момент испытываемого двигателя выше тормозного, то агрегат достигает полной частоты вращения испытываемого двигателя.

Пуски испытываемого двигателя производят несколько раз при разных тормозных моментах на валу, значения которых регулируются подводимым к нагрузочной машине напряжением. При испытании следует определять наибольшее значение тормозного момента, при котором агрегат достигает полной частоты вращения испытываемого двигателя. Это значение принимают равным найденному значению минимального вращающего момента в процессе пуска испытываемого двигателя.

Определение соответствия номинальных показателей двигателей требованиям стандартов

Номинальными показателями асинхронных двигателей, значения которых установлены в стандартах или технических условиях, являются: КПД η, коэффициент мощности cosϕ0 , максимальный момент Мм, а для двигателей с короткозамкнутым ротором, кроме того, начальный пусковой момент Мп и начальный пусковой ток Iп.

Методы контроля номинальных показателей электродвигателей по результатам приемо-сдаточных испытаний

Зоны на параметры приемо-сдаточных испытаний ( I0 , Iк , Р0 и Рк), рассчитанные по номинальным показателям электродвигателей с учетом допусков на эти показатели, позволяют осуществить контроль номинальных показателей электродвигателей по результатам приемо-сдаточных испытаний.

С этой целью по результатам приемо-сдаточных испытаний необходимо нанести в координатах I0-Ik; P0-Pk; Ik-Pk точки соответствующие полученным значениям параметров приемо-сдаточных испытаний. Попадание точек внутрь всех допустимых зон свидетельствует о соответствии номинальных показателей испытанного двигателя требованиям технических условий с учетом допусков по ГОСТу. Если хоть одна точка выходит за пределы любой из зон, это свидетельствует о том, что по крайней мере по одному номинальному показателю электродвигатель не удовлетворяет предписанным требованиям.

По положению точек в зонах (в том случае, если они оказались внутри зон) можно также получить представление о величине номинальных показателей испытанного двигателя.

Автоматизированная испытательно-диагностическая система для контроля за качеством электродвигателей с использованием ЭВМ

Для контроля, диагностирования и анализа изменения номинальных показателей асинхронного двигателя предлагается использовать автоматизированную испытательно-диагностическую систему с применением ЭВМ, блок-схема которой показана на рис.7.3.

Алгоритм контроля номинальных показателей асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором на данной блок-схеме представлен по значениям токов и потерь холостого хода и короткого замыкания (I0, P0, IК, PК).

Методика диагностирования причин отклонений токов и потерь холостого хода и короткого замыкания в процессе производства асинхронных двигателей сводится к определению направлений смещений точек в допустимых зонах.

Цифровое измерение в измерительной системе токов и потерь холостого хода и короткого замыкания осуществляется по особому алгоритму. Соответствующие каналы преобразования измерительной системы построены на аналоговых интегрирующих преобразователях переменного тока и мощности трехфазной цепи с унифицированными выходными сигналами постоянного тока (0-5 мА).

Данная система функционирует совместно с испытательным конвейером, имеющим 7 основных позиций испытаний асинхронных двигателей. На первой позиции испытательного стенда контролируется обрыв фаз, а на второй - сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса двигателя и между обмотками. На третьей и четвертой позициях осуществляются испытания межвитковой изоляции обмоток на электрическую прочность. На пятой позиции электродвигатели подвергаются испытаниям в режимах холостого хода и короткого замыкания. Шестая позиция предназначена для испытаний изоляции обмоток относительно корпуса и между обмотками на электрическую прочность, а седьмая - для вибрационных испытаний.

Во время испытаний от позиций 1-4, 6 и 7 через измерительную систему на входы блока сопротивления поступают бинарные сигналы. Если на соответствующей позиции электродвигатель не выдерживает испытания, то вырабатывается “0” (низкий потенциал), если выдерживает - сигнал “1”(высокий потенциал).

При испытаниях асинхронного двигателя по 5-ой позиции, то есть в режимах холостого хода и короткого замыкания, с помощью измерительной системы измеряются токи и потери.

Блок сопряжения системы осуществляет обмен измерительной и управляющей информацией между управляющим вычислительным устройством и внешними устройствами путем временного разделения каналов.

Отбраковка и диагностирование асинхронных двигателей осуществляются путем обработки результатов измерений параметров холостого хода и короткого замыкания испытуемых двигателей по алгоритму приведенному на рис.7.3.

Далее путем обработки результатов измерений параметров холостого хода и короткого замыкания годных асинхронных двигателей осуществляют их статический анализ.

Для каждого годного асинхронного двигателя оформляют протокол испытаний с указанием реквизитов двигателя.

Совершенствование алгоритма функционирования в программе ЭВМ направлено на обеспечение цифрового программного управления работой измерительного комплекса и на использование дополнительных процедур контрольно-измерительной, испытательной и диагностической работы для повышения достоверности и глубины контроля параметров и диагностирования асинхронных двигателей.