

Профессор Г.О. Магомедов, аспирант В.В. Богданов,
инженер конструктор А.В. Евсеев, доцент М.Г. Магомедов
(Воронеж. гос. ун-т инж. техн) кафедра технологии хлебопекарного, макаронного и
кондитерского производств, тел. 255-38-51

Установка для приготовления сбивного теста (особенности работы и основные технические характеристики)

Разработана установка с автоматической системой управления для приготовления сбивного теста, которая позволяет отслеживать текущие значения всех режимных параметров, автоматически поддерживать их на установленном уровне или изменять в соответствии с предусмотренным алгоритмом управления. При необходимости контролируемые параметры должны выводиться для визуального контроля процесса, а также сохраняться в памяти компьютера, используемого в АСУ для последующего анализа, расчетов и поиска оптимальных значений.

There was developed a facility for the preparation of whipped dough with automatic control unit, which allows you to track the current value of all operating parameters, automatically keep them at the set level, or change in accordance with the prescribed control algorithm. If necessary, the controlled parameters should be displayed for visual inspection process and stored in the computer memory using in the ACS for analysis, calculations and finding the best values.

Ключевые слова: тесто, разрыхление, сбивание, лопасти, мешалка.

При приготовлении теста по классической технологии, целью замеса является получение однородной гомогенной упруго-пластичной структуры, свойства и реология которой во многом определяются образовавшимся устойчивым клейковинным каркасом.

При приготовлении сбивного теста аналогичным классическому способу является лишь начальный непродолжительный этап тщательного перемешивания всех компонентов теста в соответствии с заданной рецептурой. Уже второй этап приготовления сбивного теста отличается от классического, прежде всего, применением гораздо более интенсивных режимов воздействия на тесто непосредственно в процессе формирования его структуры. На втором этапе одновременно с происходящими в тесте процессами набухания и растворения белков и образования клейковинного каркаса, решается задача разрушения этого каркаса с образованием вязко-пластичной однородной массы теста, пригодной для проведения последующего процесса ее сбивания. Второй этап наиболее энергоемкий и сопровождается значительным тепловыделением в объеме теста, требующим эффективного теп-

лоотвода из зоны перемешивания. На последнем – третьем этапе, производится сбивание полученной гомогенной массы под повышенным давлением сжатого воздуха. Где происходит механическое разрыхление теста, насыщение его воздухом, а также частичное растворение его в тесте при давлении 0,4-0,6 МПа сжатого воздуха.

Продолжительности этапов зависят ингредиентов и режимов перемешивания, и составляют: первого – не более минуты, второго – 5-10 мин, и третьего – 30-60 с. Режимы перемешивания определяются, в первую очередь, частотой работы мешалки и рядом геометрических параметров аппарата. Интенсивность перемешивания на втором этапе ограничивается мощностью теплоотвода из зоны перемешивания. Геометрические параметры – это соотношение диаметра и высоты месильной камеры, число лопастей, их наклон по отношению к осевой вертикальной плоскости камеры, зазоры между лопастями и стенками камеры. Оптимальные режимы перемешивания зависят от вида обрабатываемого теста и предусмотрены его рецептурой. В свою очередь, от режима обработки теста зависит интенсивность тепловыделения в объеме теста в процессе перемешивания и сбива-

ния, а значит, и необходимая мощность теплоотвода. Большинство из перечисленных параметров зависят друг от друга, т. е. их оптимальные значения зависят от текущих значений других параметров, поэтому поиск оптимальных технологических режимов в процессах приготовления каждого конкретного вида теста на экспериментальной установке предполагает возможность варьирования указанных параметров в необходимых диапазонах в процессе работы. Автоматическая система управления установкой должна отслеживать текущие значения всех режимных параметров, автоматически поддерживать их на установленном уровне или изменять в соответствии с предусмотренным алгоритмом управления. При необходимости, контролируемые параметры должны выводиться для их визуального контроля процесса, а также сохраняться в памяти компьютера, используемого в АСУ для последующего анализа, расчетов и поиска оптимальных значений. Установка представлена на рис. 1.

Рассматриваемая установка проектировалась для последовательного проведения процессов перемешивания и сбивания теста в одном аппарате. На основании анализа существующих установок, с учетом особенностей процесса приготовления сбивного теста, был выбран вариант перемешивания в вертикальной герметичной охлаждаемой цилиндрической камере с нижней осевой разгрузкой сбитого теста. В качестве перемешивающе-сбивающего устройства в данной установке используется четырехлопастная мешалка. Лопасти выполнены в виде прутков диаметром 6 мм, расположенных в вертикальной осевой плоскости параллельно стенкам охлаждаемой части камеры на расстоянии 2-5 мм от стенок. Прутки снабжены тремя спицами, которыми лопасти закреплены на вертикальном консольно расположенном валу мешалки. Конструкция крепления лопастей позволяет изменять зазор между ними и стенками камеры. Данная особенность конструкции важна и вызвана спецификой работы рассматриваемого аппарата. Перемешивание и сбивание в нем происходит при высоких оборотах мешалки, в результате чего большая часть теста распределяется, циркулирует и обрабатывается в тонком пристеночном слое, поэтому зазор между лопастями и стенкой камеры в данном случае определяет характер взаимодействия лопастей с тестом и явля-

ется важным параметром, определяющим интенсивность и эффективность обработки.

Вариант с верхним консольным расположением мешалки был принят на основании анализа работы аналогичного по назначению смесителя для приготовления сбивного теста. Прототип представлял собой наклонную цилиндрическую охлаждаемую камеру, внутри которой соосно располагалась двухопорная четырехлопастная мешалка. Считается, что двухопорная схема установки вала мешалки более жесткая и обеспечивает более надежную работу перемешивающего органа при низком уровне вибраций и уменьшенной металлоемкости перемешивающего устройства. Но данная схема имеет ряд серьезных недостатков. Расположение камеры под углом в подобных смесителях является мерой вынужденной, поскольку осевая выгрузка готового продукта из месильной камеры невозможна из-за расположения в этой зоне нижней опоры вала мешалки, поэтому появилась необходимость выполнять камеру наклонной и производить разгрузку теста через патрубок, располагаемый в нижней точке сопряжения наклонной цилиндрической обечайки и плоского днища. Двухопорная установка предполагает наличие двух мест выхода вращающегося вала из камеры, а значит, применения двух уплотняющих узлов – на крышке и днище камеры. Уплотнение подвижных деталей является серьезной проблемой, особенно в аппаратах, работающих под давлением или вакуумом. Нижняя опора, непосредственно граничащая с тестом, является местом, требующим наибольшего внимания в таком аппарате. Так, при использовании сальникового уплотнения, характеризующегося тем, что оно требует периодической подтяжки, могут возникать ситуации, когда тесто выдавливается через уплотнение, при этом не только нарушается нормальная работа аппарата, но и требуется полная разборка узла перемешивания для чистки и реставрации узлов уплотнения. Но стационарная установка мешалки в камере усложняет очистку и мойку аппарата после завершения работы и при ремонте. Конструктивно трудно выполнить надежное крепление и обеспечить её соосность нижней опоре, поскольку корпус верхнего подшипника приходится устанавливать на нескольких спицах.

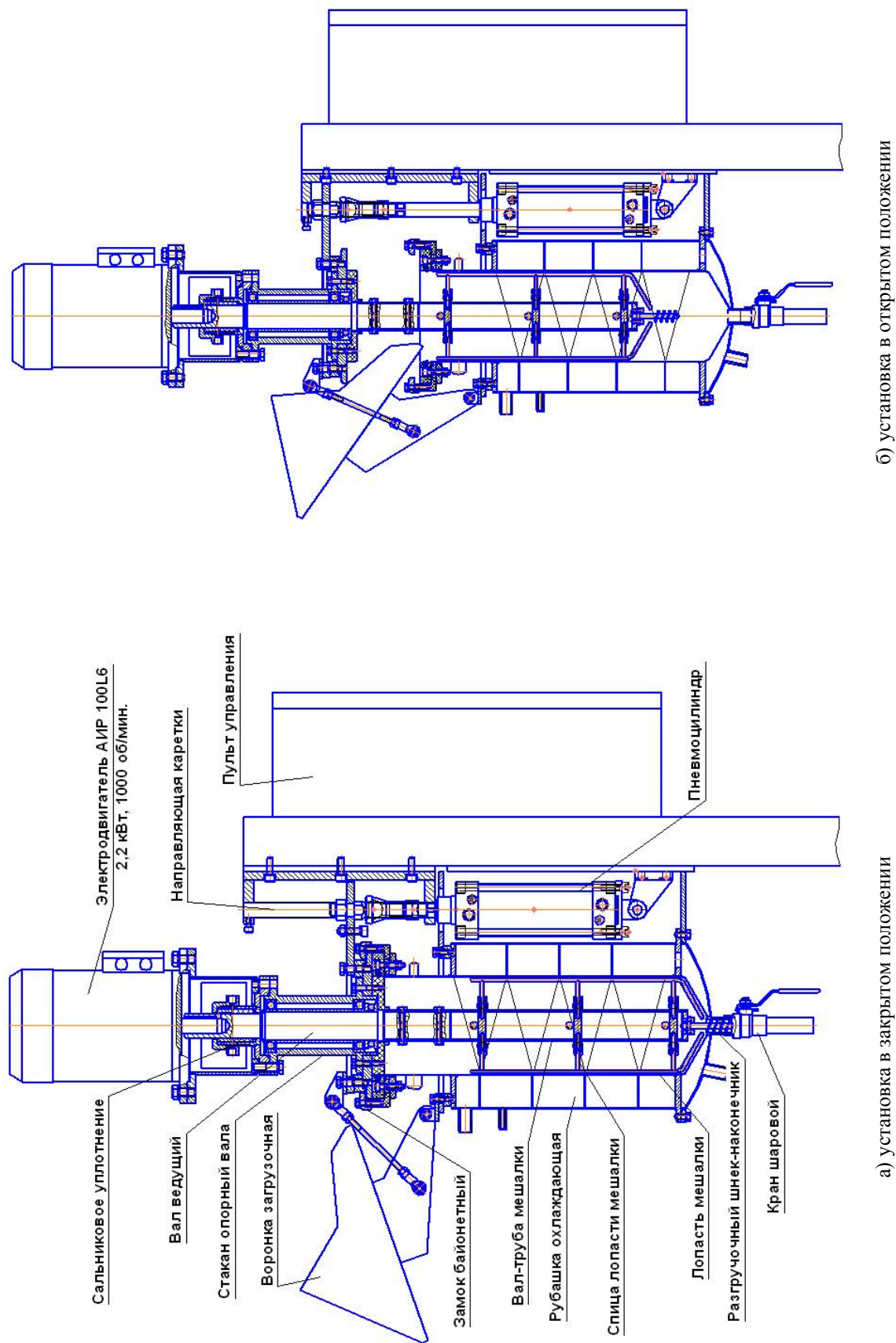


Рис. 1. Установка для приготовления сбивного теста

Консольная установка не имеет указанных недостатков, она более проста конструктивно и более технологична в изготовлении. Необходимая жесткость была достигнута за счет использования в качестве вала мешалки тонкостенной нержавеющей трубы большого диаметра, в которую вварены три пары сквозных бобышек, в которых закреплялись спицы четырех лопастей. С учетом того, что рабочей зоной месильной камеры в данной установке является тонкий пристеночный слой, а центральная часть свободна, использование тонкостенных труб нужного диаметра позволяет гарантированно получать любую необходимую жесткость вала мешалки при низкой металлоемкости конструкции.

При верхнем консольном расположении вал уплотняется лишь в верхней части, где отсутствует обрабатываемый продукт, поэтому нарушение герметичности в данном случае может привести лишь к возникновению незначительных утечек воздуха из камеры, которые, при достаточной производительности компрессора, никак не скажутся на величине давления сжатого воздуха в камере. Кроме того, нарушение герметичности сальникового уплотнения может устраняться без последствий для работоспособности аппарата непосредственно в процессе его работы.

Верхнее консольное расположение мешалки позволило производить нижнюю осевую разгрузку теста из нижней точки конической части камеры. С учетом того, что нижний, незакрепленный, конец вала свободен, на нем был установлен наконечник, выполненный в виде короткого шнека и размещенный в разгрузочном патрубке камеры. Это позволило обеспечить максимально возможную степень разгрузки камеры, а на стадии замеса за счет реверсивного вращения вала шнек исключает образование мертвых зон в рабочем объеме месильной камеры, так как он выгоняет тесто из зоны разгрузочного патрубка в рабочую зону перемешивания сбивания.

Реализованное в установке конструктивное решение – это перемешивающий модуль, включающий привод с мешалкой, установленные на крышке аппарата на подвижной каретке, перемещающейся по двум неподвижным вертикальным направляющим при помощи пневмоцилиндра. В верхнем положении перемешивающего модуля производится загрузка в камеру всех ингредиентов теста в соответствии с рецептурой, а также обслуживание мешалки. Рабочим положением является ниж-

нее положение каретки, в котором происходит автоматическое уплотнение крышки относительно камеры и производится перемешивание и сбивание теста по заданной программе. Уплотнение подвижного перемешивающего модуля относительно камеры производится стандартной пневматической манжетой по ГОСТ 6678-72, предназначенной для уплотнения штока пневмоцилиндров. В установке уплотняемый диаметр равен 160 мм. Манжета установлена в проточке верхнего съемного фланца месильной камеры. При опускании каретки в нижнее рабочее положение уплотняющий буртик перемешивающего модуля диаметром 160 мм заходит под манжету, при этом камера автоматически уплотняется при подаче давления в камеру. Стандартное уплотнение крышек в аппаратах, работающих под давлением, чаще всего осуществляется путем прижатия крышки с заданным усилием к уплотняющей прокладке, закрепленной на верхнем фланце камеры. Недостаточное усилие прижатия приводит к утечке воздуха через прокладку, избыточное – может нарушить целостность прокладки или значительно снизить срок ее эксплуатации. В любом случае, такая схема уплотнения неудобна в эксплуатации и требует достаточно квалифицированного обслуживания. Для получения надежного уплотнения при использовании манжеты достаточно лишь завести уплотняющий буртик заданного диаметра под манжету. Уплотнение произойдет само собой сразу после начала повышения давления в камере за счет самоуплотняющего свойства таких манжет. Значительно снижаются требования к точности выполнения сопрягаемых деталей уплотняющего узла и к их соосности. Исключены ошибки обслуживающего персонала в процессе уплотнения такого аппарата. В отличие от уплотнения прокладками, манжетное уплотнение оставляет возможность производить регулировки вертикального положения крышки, а значит, и вала мешалки относительно днища камеры, поскольку надежная герметизация камеры будет получена при любом положении крышки в пределах длины уплотняющего буртика. Перед подачей давления в камеру достаточно лишь опустить перемешивающий модуль по направляющим, при этом уплотнительный буртик войдет под манжету, и зафиксировать модуль от вертикального смещения. В установке для этой цели используется соосный камере байонетный замок, у которого конструктивно предусмотрено

при повороте его вокруг оси два фиксированных положения: «Открыто» - «Закрыто».

С учетом значительного тепловыделения на втором этапе приготовления сбивного теста, в установке используется охлаждающая рубашка камеры, внутри которой циркулирует холодная вода по спиральному каналу, а камера выполнена максимально тонкостенной – расчетная толщина стенок камеры – 1мм, что гарантирует надежный и интенсивный отвод тепла. Прочность камеры была проверена испытанием под давлением 10 атм. Количество отводимого тепла рассчитывается контроллером на основании показаний двух датчиков температуры, установленных на входе и выходе спирального канала охлаждающей рубашки, и счетчика расхода воды, установленного на подающей магистрали. Тепловыделение в тесте не постоянно в течение замеса. При одних и тех же оборотах оно изменяется с изменением структуры теста. Об изменении структуры теста можно косвенно судить по величине отбираемой мощности на перемешивание, а при постоянстве оборотов мешалки – по крутящему моменту на валу. Эти параметры вычисляются по току в обмотках электродвигателя и оборотам мешалки, значения которых снимаются контроллером с частотного преобразователя, используемого в системе управления приводом мешалки, затем обрабатываются и выводятся в виде таблиц и графиков на монитор компьютера. На основании анализа графика изменения крутящего момента во времени судят и о завершенности процесса подготовки теста к сбиванию. В память компьютера, управляющего работой установки, заложено несколько различных алгоритмов управления. Один из них соответствует представлению о процессах, происходящих в тесте. Согласно этому алгоритму, второй этап обработки теста заканчивают после того, как прекратится рост крутящего момента на валу мешалки и он стабилизируется на определенном уровне, переход же работы установки на режимы, соответствующие третьему этапу сбивания теста, происходит автоматически через заданный интервал времени с того момента, как компьютер определил стабилизацию крутящего момента. Этот интервал задается оператором и предусмотрен в алгоритме для исключения ошибки, вызванной случайным совпадением значений момента, например, в двух следующих один за другим измерениях. Величина этого интервала выбирается опытным путем на основании

представлений о процессах, происходящих в тесте в процессе его обработки в аппарате.

Геометрически камера состоит из двух частей: верхней цилиндрической части диаметром 160 мм и высотой 475 мм и конического днища с углом конуса 120°, снабженного разгрузочным нижним патрубком. Патрубок имеет внутренний диаметр 21 мм, где располагается наконечник мешалки, выполненный в виде шнека. На наружном диаметре патрубка имеется резьба G3/4" под установку шарового крана. Шаровой кран герметично запирает внутренний объем камеры на стадии перемешивания и сбивания под давлением и обеспечивает выгрузку теста из аппарата с заданной регулируемой скоростью. Рабочая (охлаждаемая) высота цилиндрической части камеры – 360 мм. Рабочий (охлаждаемый) объем камеры – 6,5 л.

Установка работает следующим образом. По умолчанию, после включения установки тумблером «Сеть», выбран ручной режим работы. Ручной режим удобен для подготовки установки к работе в автоматическом режиме – проверки основных узлов, работы привода мешалки и механизма подъема каретки модуля перемешивания, а так же для осмотра и, при необходимости, чистки мешалки и камеры. После проверки готовности установки к эксперименту тумблером «Верх» - «Низ» ручного пневмораспределителя поднимают каретку с установленным на ней перемешивающим модулем в верхнее положение. При этом загрузочная воронка системой тяг устанавливается в рабочее положение и через нее производится загрузка всех компонентов в соответствии с рецептурой. После этого каретка опускается в нижнее рабочее положение, при этом автоматически происходит герметизация камеры.

Первый эксперимент проводится в ручном режиме. При этом предварительно устанавливают число оборотов мешалки с помощью частотного преобразователя, используемого в приводе, и задают рабочее давление в камере с помощью редуктора давления, установленного на входной воздушной магистрали. После опускания камеры в рабочее положение закрывают байонетный замок, фиксирующий перемешивающий модуль, и подают сжатый воздух под давлением. После достижения заданного давления в камере включают привод мешалки на заданное время при постоянных оборотах. В режиме перемешивания мешалка вращается в направ-

лении, при котором шнек-наконечник, установленный на нижнем конце вала мешалки, возвращает тесто, попавшее в разгрузочный патрубок, обратно в камеру. Направление вращения мешалки обязательно проверяется в процессе первоначальной настройки установки. После завершения перемешивания привод переключают на режим «Выгрузка», при котором вал на небольших оборотах вращается в противоположном рабочему направлении, а шнек-наконечник при этом нагнетает тесто в направлении выгрузки. Выгрузку приготовленного теста производят в хлебопекарные формы через шаровой кран на разгрузочном патрубке, расположенном в нижней точке конической части камеры.

Для автоматической работы установки необходимо тумблер «Ручн» - «Авт» установить в положение «Авт», при этом на экране монитора появляется таблица с параметрами процесса перемешивания из последнего эксперимента. Кроме того, в памяти компьютера хранятся результаты и таблицы параметров ряда предыдущих экспериментов. На этой стадии можно изменить значения любых параметров в текущей таблице или выбрать таблицы параметров из других, проведенных ранее, экспериментов. На этой же стадии выбирается вариант алгоритма управления работой установки. После задания параметров процесса и выбора алгоритма управления производят загрузку всех ингредиентов теста, как описано выше, опускают перемешивающий модуль в рабочее положение, закрывают байонетный замок и нажимают кнопку «Пуск». При нажатии кнопки «Пуск» запускается программа, реализующая выбранный алгоритм управления процессом приготовления сбитого теста:

- при этом закрывается нормально-открытый электропневмоклапан на выходе камеры и одновременно открывается нормально-закрытый клапан на входной воздушной магистрали, в камеру подается сжатый воздух до заданной величины давления;

- по достижении заданного давления по сигналу датчика давления закрывается входной клапан и включается привод мешалки;

- обороты мешалки, продолжительность перемешивания в каждом периоде и число периодов задается программой управления установкой;

- в процессе перемешивания определяется величина тока в обмотках двигателя, в зави-

симости от числа оборотов мешалки, и вычисляется крутящий момент на валу мешалки;

- в режиме реального времени строятся графики: «крутящий момент – время», «число оборотов мешалки – время»;

- после прекращения роста крутящего момента, через заданный промежуток времени с момента его стабилизации или падения, мешалка выключается;

- производится реверсное включение электродвигателя мешалки с заданным числом оборотов и происходит выгрузка приготовленного сбитого теста в хлебопекарные формы;

- в установке предусмотрено несколько блокировок, исключающих возникновение аварийных и опасных ситуаций.

Блокировки включают в себя:

- датчик положения байонетного замка, контролирующий закрытие и открытие замка, таким образом, электропневмоклапан на входе камеры останется закрытым после нажатия кнопки пуск и не разрешит подачу давления, если не закрыть замок;

- датчик давления сжатого воздуха, то есть открытие замка возможно только после сброса давления в камере;

- подъем каретки с перемешивающим модулем возможен только при открытом замке и отсутствии давления в камере.

Таблица параметров эксперимента, а также все графики, построенные по результатам каждого эксперимента, сохраняются в памяти компьютера и привязываются к порядковому номеру эксперимента. В дальнейшем, сохраненные результаты экспериментов в любое время могут использоваться для обработки, сравнения разных режимов обработки и выбора оптимальных режимов для различных видов теста.

К контролируемым параметрам относятся:

- давление сжатого воздуха в камере (контролируется визуально по манометру и автоматически по показаниям датчика давления);

- число оборотов мешалки, различные на разных стадиях процесса (контролируются визуально и автоматически частотным регулятором);

- сила тока в обмотках электродвигателя (контролируется визуально и автоматически частотным регулятором);

- текущий крутящий момент на валу двигателя (рассчитывается контроллером);

- температура теста (контролируется автоматически термодатчиком);

- температура охлаждающей воды на входе и выходе охлаждающей рубашки (контролируется автоматически термopарами);

- время перемешивания на каждом этапе процесса приготовления теста (контролируется автоматически).

К задаваемым параметрам относятся:

- давление в камере;
- частота вращения мешалки;
- максимально допустимая температура теста;

- время задержки момента отключения привода мешалки после достижения максимально допустимой температуры;

- время задержки момента отключения привода мешалки после прохождения максимума крутящего момента;

- время задержки момента отключения привода мешалки после достижения минимума крутящего момента.

Состав АСУ:

- электродвигатель АИР-100L6 (2,2 кВт, 1000 об/мин) – 1 шт;

- преобразователь частоты VFD037EL43A – 1 шт;

- программируемый логический контроллер DVP20EX200R – 1 шт;

- пневмоцилиндр 40M2L080A0120 (Kamozzi) – 1 шт;

- электропневматический распределитель 623-15G-A63 – 2 шт;

- температурные датчики TS1-K-3.8-5-M6-S1-1.5 – 3 шт;

- датчик давления DMP 330M-1002-1-100-800-00R – 1 шт;

- индуктивный датчик положения замка – 1 шт.

ЛИТЕРАТУРА

1 Ануриев, В. И. Справочник конструктора-машиностроителя [Текст]: в 3-х томах / В. И. Ануриев. – М.: Машиностроение, 2006. – 928 с.

REFERENCES

1 Anurov, V. I. Reference book for design-mechanical engineers [Text]: in 3 volumes / V. I. Anurov. – M.: Mashinostroenie, 2006. – 928 p.