

Профессор Г.О. Магомедов, аспирант В.В. Богданов,
доцент Т.А. Шевякова, инженер-конструктор Н.В. Евсеев
(Воронеж. гос. ун-т инж. технол.) кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского,
макаронного и зерноперерабатывающего производств, тел. (473) 255-38-51

Разработка универсальной установки с автоматической системой контроля и управления процесса замеса, сбивания и формования бисквитного теста

Разработана смесительно-сбивально-формулирующая установка с автоматизированной системой контроля, управления технологическими процессами и структурообразования при интенсивном замесе, сбивании и формовании бисквитного теста.

The mixing-melting-forming installation with the automated system of monitoring and managements of technological processes and structurizations at intensive kneading, melting and formation of biscuit dough.

Ключевые слова: автоматическая система управления, замес теста, сбивание и формование

В настоящее время актуальной задачей является создание инновационной технологии мучных кондитерских изделий и адаптированной, универсальной установки с автоматической системой контроля и управления технологическими процессами.

Создана универсальная установка для проведения последовательно процессов перемешивания и сбивания теста в одном аппарате с последующим формованием [1].

С целью создания автоматизированной системы контроля и управления технологическими процессами сбивных бисквитных кондитерских изделий разработана смесительно-сбивально-формулирующая установка с применением микропроцессорной техники.

Принцип работы смесительно-сбивально-формулирующей установки. Установка (рисунок 1) 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, 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 устанавливаются обороты 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 направлении, 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 направлению, а шнек-наконечник при этом нагнетает тесто в направлении выгрузки. Выгрузку приготовленного теста производят в формы через шаровой кран на разгрузочном патрубке, расположенном в нижней точке конической части камеры.

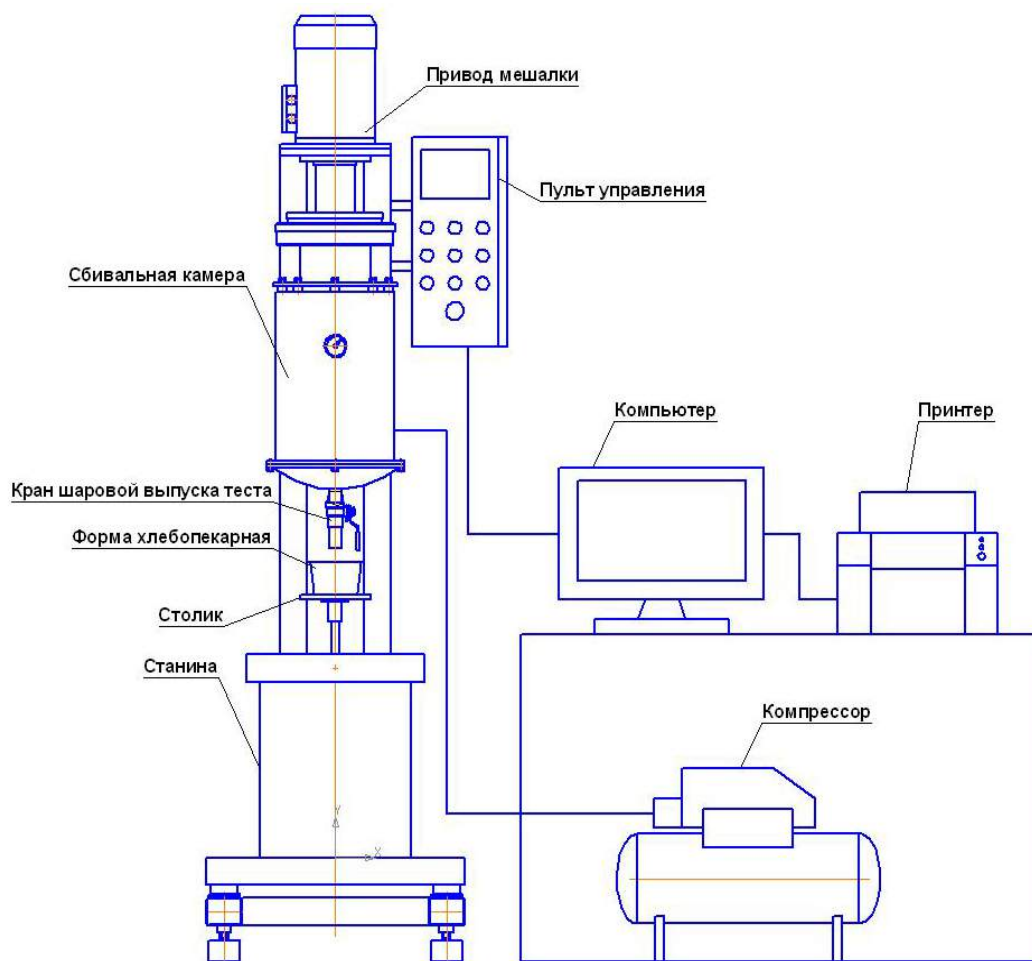


Рисунок 1 - Смесительно-сбивально-формующая установка

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. В памяти компьютера, кроме того, 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 также 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 сбивного 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 зависимости от числа оборотов мешалки вычисляется крутящий момент на валу мешалки (удельная мощность привода - УМП);

- в режиме реального времени строятся графики «крутящий момент (удельная мощность) – время», «обороты мешалки – время»;

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

- производится реверсное включение электродвигателя мешалки с заданными обо-

ротами и производится выгрузка приготовленного сбитого теста в хлебопекарные формы;

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

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

- открытие замка возможно только после сброса давления в камере; давление контролируется датчиком давления сжатого воздуха;

- 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 последующем сохраненные результаты экспериментов в любое время могут использоваться для обработки, сравнения разных режимов обработки и выбора оптимальных для различных видов теста.

Состав автоматической системы управления:

1. Программируемый логический контроллер DVP20EX200R.

2. Преобразователь частоты VFD037 EL43A.

3. Электродвигатель АИР 90L4 (2,2 кВт, 1400 об/мин, ток 5,78А) - Эдв.

4. Электропневматический клапан 623-15G-A63 (нормально закрытый, 24В, присоединение 3/8') – 2шт. (на входе в камеру и на пневмоцилиндре).

5. Электропневматический клапан 348-015-02 (Злин/2позиции - нормально открытый, 24В, присоединение G1/8') – 1шт. (На выходе камеры).

6. Температурный датчик TS1-K-3,8-5-M6-S1-1,5M-U – 1шт – измерение температуры теста (tr).

7. Температурный датчик TS1-K-4,8-30-M8-S2-1,5-U – 2шт. – измерение температуры охлаждающей воды на входе tv1 и выходе tv2 охлаждающей рубашки.

8. Датчик давления DMP 330M-1002-1-100-800-00R (Измеряемое давление избыточное Диапазон 0...10 бар; Выходной сигнал 4...20 мА /2-х пров.; Электрическое присоединение DIN 43650; Механическое присоединение M20 x 1,5 EN 873-1/-3).

9. Индуктивный датчик положения замка.

10. Расходомер охлаждающей воды.

Структурная схема системы контроля и управления сбивальной установкой представлена на рисунке 2.

Органы управления на рабочей панели пульта:

1. Тумблер «Сеть» - Общее включение АСУ.

2. Поворотная ручка регулировки частоты вращения мешалки.

3. Тумблер ручного пневмораспределителя включения прямого и обратного хода пневмоцилиндра (нормально закрытый).

4. Большая красная грибовидная кнопка «Авария» - аварийная остановка работы установки – при нажатии выключается питание установки.

5. Красная кнопка «Стоп» ручного включения электродвигателя.

6. Зеленая кнопка «Пуск» - ручного включения электродвигателя.

7. Зеленая кнопка «Выгрузка» - ручного включения вращения мешалки в обратном направлении. При этом автоматически включается скорость вращения, соответствующая этому режиму работы – скорость отличная от скорости вращения в прямом направлении. Реверс используется при выгрузке теста из камеры.

8. Зеленая кнопка «Сброс давления» ручного включения сброса давления в камере через нормально открытый пневмоэлектроклапан.

9. Зеленая кнопка «Подача давления в камеру» ручного включения подачи давления в камеру через нормально закрытый пневмоэлектроклапан на входе камеры.

10. Переключатель «Ручн» / «Автомат» - переключение режимов «Ручной»-«Автоматический».

11. Зеленая индикаторная лампочка «Сеть».

12. Красная индикаторная лампочка «Замок открыт».

13. Красная индикаторная лампа «Перегрев теста».

14. Зеленая индикаторная лампа «Перемешивание завершено».

15. Зеленая индикаторная лампа «Сбивание завершено»

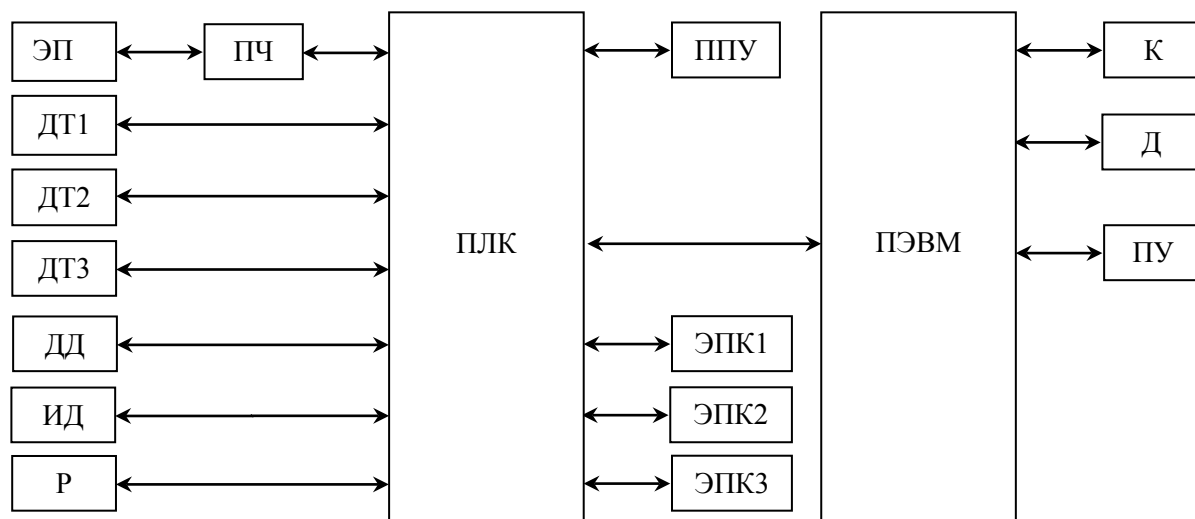


Рисунок 2 - Структурная схема системы контроля и управления сбивальной установкой

ЭП – электропривод; ПЧ – частотный преобразователь; ДТ1 – ДТ3 – датчик температуры; ДД – датчик давления; ИД – индуктивный датчик положения замка; Р – расходомер; ЭПК1 – ЭПК3 – электропневматический клапан; ПЛК – программируемый логический контроллер; ППУ – панель пульта управления; ПЭВМ – персональная ЭВМ; К – клавиатура; Д – дисплей; ПУ – печатающее устройство

Измеряемые и вводимые параметры

1. Давление в камере:

а. манометр на редукторе давления;

б. датчик давления – значение текущего давления считывается контроллером как один из параметров, управляющих работой установки, и выводится на дисплей компьютера в соответствующую ячейку таблицы отслеживаемых параметров.

2. Температура теста:

а. температурный датчик TS1-K-3,8-5-M6-S1-1,5M-U – текущее значение температуры считывается контроллером как один из параметров, управляющих работой установки, и выводится на дисплей в соответствующую ячейку таблицы отслеживаемых параметров.

3. Температура охлаждающей воды:

а. температурный датчик TS1-K-4,8-30-M8-S2-1,5-U на входе рубашки;

б. температурный датчик TS1-K-4,8-30-M8-S2-1,5-U на выходе рубашки. Текущие значения температуры на входе и выходе выводятся на дисплей в соответствующую ячейку таблицы отслеживаемых параметров, а также обрабатываются контроллером для вычисления количества отводимого от теста тепла.

4. Частота вращения мешалки:

а. можно считать визуально с панели частотного преобразователя. Для получения информации о частоте на панели частотного преобразователя необходимо, переключая последовательно выводимые на панель величины, выбрать «Частота вращения».

б. текущее значение частоты вращения мешалки выводится на экран дисплея в соответствующую ячейку таблицы выводимых на дисплей параметров процесса. Значение частоты берется с частотного преобразователя.

5. Крутящий момент на валу мешалки/Сила тока в обмотках двигателя:

а. текущее значение крутящего момента (УМП) на валу мешалки и/или значение потребляемого двигателем тока, выводится на экран дисплея в соответствующую ячейку таблицы выводимых параметров процесса. Значение силы тока берется с частотного преобразователя. Значение крутящего момента (УМП) вычисляется контроллером.

6. Текущее время эксперимента – постоянно отражается в выбранной ячейке таблицы выводимых параметров процесса.

7. График «Температура теста – Время».

8. График «Температура охлаждающей воды – Время».

9. График «Крутящий момент – Время».

10. График «Количество тепла, отводимого охлаждающей водой от теста – Время» (количество тепла вычисляется контроллером на основании значений расхода и температуры охлаждающей воды на входе и выходе).

Задаваемые параметры:

- задание рабочего давления;

- задание максимально допустимого значения тока потребляемого двигателем;

- задание числа оборотов мешалки при прямом вращении;

- задание числа оборотов мешалки при выгрузке (реверсивное вращение);
- задание максимально допустимой температуры теста;
- задание времени задержки момента включения привода мешалки после прохождения максимума момента (УМП) на валу мешалки;
- задание времени задержки момента включения привода мешалки после стабилизации крутящего момента (УМП), наступающего после прохождения максимума крутящего момента.

Алгоритм работы АСУ:

1. Установка может работать в двух режимах – «Ручной» и «Автоматический». Выбор режима производится переключателем «Ручн.»/ «Авт.».

2. В режиме «Автоматический» установка должна работать под управлением одной из нескольких программ, реализующих различные алгоритмы управления. (Процесс выбора и задания нужной программы из списка нуждается в доработке).

3. В режиме «Ручной»:

- пневмоэлектрклапан на входе камеры (нормально закрытый) – ЗАКРЫТ;
- клапан на выходе (нормально открытый) – ЗАКРЫТ;
- клапан на пневмоцилиндре (нормально закрытый) – ОТКРЫТ;
- клапан на входе камеры открывается кнопкой «Подача давления в камеру»;
- клапан на выходе камеры открывается кнопкой «Сброс давления в камере»;
- нормально закрытый клапан на пневмоцилиндре в ручном режиме ОТКРЫТ, если нет никаких запрещающих условий;
- клапан на пневмоцилиндре в ручном режиме закрыт если индуктивный датчик замка показывает «Закрыт», и/или датчик давления показывает давление в камере больше 0,1 атм.

4. В режиме «Автоматический» в нормальном состоянии:

- нормально закрытый клапан на входе камеры – ЗАКРЫТ;
- нормально открытый клапан на выходе – ОТКРЫТ;
- нормально закрытый клапан на пневмоцилиндре – ЗАКРЫТ.

5. Нормально закрытый клапан на входе в камеру в автоматическом режиме:

- открывается кнопкой «Подача давления в камеру», если индуктивный датчик положения замка показывает «закрыт»;
- не открывается кнопкой «Подача давления в камеру», если индуктивный дат-

чик положения замка показывает «открыт». В этом случае должна замигать индикаторная лампочка «Замок открыт». После того как замок будет закрыт, для подачи давления в камеру необходимо еще раз нажать кнопку «Подача давления в камеру».

6. Нормально открытый клапан на выходе камеры в автоматическом режиме:

- открывается кнопкой «Сброс давления в камере» (открывается всегда – и в ручном и в автоматическом режимах);
- открывается, если индуктивный датчик Замка показывает/переведен в положение «Открыт»;

- закрывается программой управления работой АСУ в автоматическом режиме после нажатия кнопки «Подача давления в камеру» при условии, что индуктивный датчик замка показывает «Закрыт».

7. Нормально закрытый клапан на пневмоцилиндре в автоматическом режиме:

- открывается после нажатия кнопки «Автомат» и открыт всегда, если нет запрещающих условий программы управления;
- закрывается, если индуктивный датчик положения замка показывает «Закрыт» и/или датчик давления показывает давление в камере больше 0,1 атм.

8. ВКЛЮЧЕНИЕ привода мешалки в ручном и автоматическом режиме производится кнопкой «Пуск».

9. ВЫКЛЮЧЕНИЕ привода мешалки в ручном и автоматическом режиме производится кнопкой «Стоп».

10. ВЫКЛЮЧЕНИЕ привода мешалки в автоматическом режиме производится кнопкой «Стоп» или рабочей программой управления в соответствии с алгоритмом:

- если температура теста достигла максимально допустимого значения;
- если ток, потребляемый двигателем достиг максимально допустимого значения;
- через заданное время после прохождения максимума момента (УМП) на валу;
- через заданное время после прохождения минимума момента на валу.

11. ВКЛЮЧЕНИЕ режима «Выгрузка» - включение привода мешалки в реверсном направлении и в ручном и автоматическом режиме производится кнопкой «Выгрузка».

Порядок включения и работы установки:

1. Включить тумблер «Сеть», при этом должна загореться зеленая индикаторная лампочка «Сеть».

2. Установить переключатель «Ручн.» / «Авт.» в положение «Ручн».

3. Если мешалка находится в верхнем положении, внести необходимое количество исходных рецептурных компонентов, опустить мешалку до крайнего нижнего положения и закрыть замок.

- При закрытом замке пневмоцилиндр опускать мешалку не будет, т.к. электропневмоклапан будет закрыт.

4. Если мешалка находится в нижнем положении, открыть замок и, управляя джойстиком ручного пневмораспределителя, поднять мешалку с помощью пневмоцилиндра.

- При закрытом замке пневмоцилиндр поднимать мешалку не будет, т.к. электропневмоклапан будет закрыт.

- При наличии давления в камере пневмоцилиндр поднимать мешалку не будет, т.к. электропневмоклапан будет закрыт, и давление в нижнюю камеру пневмоцилиндра подавать невозможно.

5. Внести необходимое количество исходных рецептурных компонентов, опустить мешалку до крайнего нижнего положения и закрыть замок.

6. Нажать кнопку «Подача давления в камеру».

7. После достижения заданного давления в камере установить автоматический режим работы установки переключателем «Ручн.» / «Авт.».

8. Включить электродвигатель привода мешалки кнопкой «Пуск».

9. Далее управление процессом перемешивания и сбивания теста будет происходить автоматически по одной из программ автоматической работы вплоть до выключения привода мешалки.

АСУ может иметь несколько подпрограмм управления:

1. Программа управления «Ручной режим работы».

2. Программа управления – «Начало перемешивания».

3. Программа управления – «Процесс перемешивания теста с завершением через заданный промежуток времени».

4. Программа управления – «Процесс перемешивания теста с завершением через заданный промежуток времени после прохождения максимума момента на валу».

5. Программа управления – «Процесс сбивания теста с завершением через заданный промежуток времени».

6. Программа управления – «Процесс сбивания теста с завершением через заданный промежуток времени после прохождения максимального момента на валу мешалки».

7. Программа управления – «Процесс сбивания теста с завершением через заданный промежуток времени после стабилизации момента на минимальном уровне»:

- выбор текущей программы должен производиться из списка программ на экране монитора, например двойным щелчком левой кнопки мыши на соответствующей программе в списке;

- задание параметров процесса сбивания производится внесением значений соответствующих параметров в таблице задаваемых параметров на мониторе.

Программа управления. «Начало перемешивания» имеет несколько особенностей:

- включается каждый раз в начале любого перемешивания перед программой «Основное перемешивание» после последовательного нажатия кнопок «Автомат» и «Пуск»;

- задает два параметра – число оборотов мешалки и время начальной стадии перемешивания. Обычно обороты мешалки на этой стадии меньше, чем на основной – порядка 200-300 об/мин. Время перемешивания – 1-3 мин.

Программа управления. «Процесс перемешивания теста с завершением через заданный промежуток времени»:

- после последовательного нажатия кнопок «Автомат» и «Пуск» вначале в автоматическом режиме запускается подпрограмма «Начало перемешивания» – ($n=200$ об/мин, $\tau=3$ мин);

- после завершения подпрограммы «Начало перемешивания» сразу включается программа «Основное перемешивание» – ($n=800$ об/мин, $\tau=10$ мин), которая завершается через заданный промежуток времени – 10 мин;

- на стадии «Основное перемешивание» возможно выключение привода мешалки при превышении температуры теста максимально допустимого значения, при этом должна замигать красная индикаторная лампа «Перегрев теста».

Программа управления. «Процесс перемешивания теста с завершением через заданный промежуток времени после прохождения максимума момента на валу»:

- после последовательного нажатия кнопок «Автомат» и «Пуск» вначале в автоматическом режиме запускается подпрограмма «Начало перемешивания» – ($n=200$ об/мин, $\tau=3$ мин);

- после завершения подпрограммы «Начало перемешивания» сразу включается программа «Основное перемешивание» - ($n=800$ об/мин);

- процесс перемешивания теста завершается через заданный промежуток времени после прохождения максимума момента (УМП) на валу;

- на стадии «Основное перемешивание» возможно выключение привода мешалки при превышении температуры теста максимально допустимого значения, при этом должна замигать красная индикаторная лампа «Перегрев теста».

Программа управления. «Процесс сбивания теста с завершением через заданный промежуток времени»:

- после последовательного нажатия кнопок «Автомат» и «Пуск» вначале в автоматическом режиме запускается подпрограмма «Начало перемешивания» – ($n=200$ об/мин, $\tau=3$ мин);

- после завершения подпрограммы «Начало перемешивания» сразу включается один из вариантов подпрограммы «Основное перемешивание»;

- после завершения подпрограммы «Основное перемешивание», сразу включается подпрограмма «Процесс сбивания теста с завершением через заданный промежуток времени» ($n=800$ об/мин, $\tau=40$ с.).

Программа управления. «Процесс сбивания теста с завершением через заданный промежуток времени после прохождения максимального момента на валу мешалки»:

- после последовательного нажатия кнопок «Автомат» и «Пуск» вначале в автоматическом режиме запускается подпрограмма «Начало перемешивания» – ($n=200$ об/мин, $\tau=3$ мин);

- после завершения подпрограммы «Начало перемешивания» сразу включается один из вариантов подпрограммы «Основное перемешивание»;

- после завершения подпрограммы «Основное перемешивание», сразу включается подпрограмма «Процесс сбивания теста с завершением через заданный промежуток времени после прохождения максимального момента на валу мешалки», например: $n=800$ об/мин, выключение происходит через $\tau=5$ с. после прохождения максимального момента (УМП) на валу мешалки.

Программа управления. «Процесс сбивания теста с завершением через заданный промежуток времени после стабилизации момента (УМП) на минимальном уровне»:

- после последовательного нажатия кнопок «Автомат» и «Пуск» вначале в автоматическом режиме запускается подпрограмма «Начало перемешивания» – ($n=200$ об/мин, $\tau=3$ мин);

- после завершения подпрограммы «Начало перемешивания» сразу включается один из вариантов подпрограммы «Основное перемешивание»;

- после завершения подпрограммы «Основное перемешивание», сразу включается подпрограмма «Процесс сбивания теста с завершением через заданный промежуток времени после стабилизации момента на минимальном уровне», например: $n=800$ об/мин, выключение происходит через $\tau=5$ с. после стабилизации момента на минимальном уровне.

Таким образом, разработана универсальная смесительно-сбивально-формующая установка с автоматизированной системой контроля и управления технологическими процессами и структурообразования при интенсивном замесе, сбивании и формовании кондитерского теста, позволяющая создавать высокоэффективные технологии и конкурентоспособную продукцию высокого качества.

ЛИТЕРАТУРА

1 Магомедов, Г.О. Установка для приготовления сбивного теста (особенности работы и основные технические характеристики) [Текст] / Г.О. Магомедов, В.В. Богданов, А.В. Евсеев, М.Г. Магомедов // Вестник ВГУИТ. - 2013. - № 1. - С. 17-23.

REFERENCES

1 Magomedov, G.O. Installation for preparation of whipped dough (feature of work and the main technical characteristics) [Text] / G.O. Magomedov, V.V. Bogdanov, A.V. Yevseyev, M.G. Magomedov // Bulletin of VSUET. - 2013. - № 1. - P. 17-23.