

## СОГЛАСОВАНИЕ МОДЕЛИРУЮЩИХ И РЕГУЛИРУЮЩИХ ПРОЦЕДУР В ПРОЦЕССЕ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОДВИГАТЕЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПРАЛИНОВЫХ СМЕСЕЙ

*Заболотный И.П., Ларина Е.Ю.*

*Донецкий государственный технический университет*

*In clause the methods of increase of quality of management of object of preparation highly homogeneous of mixes for the account of more complete use of opportunities of used means of computer facilities and packages of the applied programs are considered during functioning a multiimpellent complex.*

Процесс приготовления высокооднородных смесей необходим и находит своё решение во многих отраслях промышленности. Требования к качеству приготовления смесей вне зависимости от назначения и вида компонентов идентичны, а невыполнение их приводит к браку выпускаемой смеси и зачастую к потере качества готового изделия. Согласно существующих методических рекомендаций по метрологическому обеспечению [1] технологических процессов в кондитерской промышленности схема контроля и регулирования поточной линии производства шоколадных масс, предусматривает контроль и стабилизацию основных технологических параметров. Из всего многообразия применяемых отечественных и зарубежных средств контроля и регулирования предприятия кондитерского производства не всегда имеют возможность удовлетворить все требования, которые предъявляет сложный технологический процесс. В существующей схеме контроля и регулирования поточной линией производства шоколадных масс отсутствует весовой контроль, без чего невозможно вести процесс дозирования с заданной точностью. Кроме того, анализ систем управления и регулирования показал, что основным исполнительным механизмом дозаторов является асинхронный двигатель (АД), регулирование скоростью которого не предусмотрено. Таким образом, ни массовый, ни объёмный расход не определены. Это не позволяет добиться высоких показателей производства.

В известных дозирующих комплексах "СИГНАЛ М-1" и "СИГНАЛ М-2" разработки ТМО "АВТОМАТИКА" [2], Россия, предназначенных для автоматической дозировки в тару внавал по заданному весу нетто определяется масса мелкоштучных изделий, например, конфет в этикете, пряников, "затяжных" сортов печенья и т. п. продукции. Дозирующий комплекс соответствует основным требованиям ГОСТ10223-82 и работает в полуавтоматическом режиме, то есть установку - снятие тары и контроль за точностью дозирования производит оператор. В качестве измерительных средств используются тензорезисторные датчики, обеспечивающие контролируемый диапазон 0,32; 0,50 кН для двух комплексов соответственно, пределы дозирования от (1, 00 до 15, 00) и от (1,00 до 20,00) кг, класс точности 0,25%, чувствительность не более 20 г, дискретность отсчёта 10 г, продолжительность цикла дозирования - 40 и 60 с., время переналадки на другой вес - 1 мин. Система управления - программируемый контроллер, но в режиме "НАСТРОЙКА" предусматривает ручной режим работы и контроль дозирующего комплекса не реже раза в неделю. Приведенный анализ показывает, что даже при незначительном количестве выполняемых функций задача дозирования является чрезвычайно сложной.

Разработанный ДонГТУ многодвигательный технологический комплекс предназначен для приготовления высокооднородных многокомпонентных рецептурных смесей, в частности, пралиновых масс (начинок для шоколадных конфет, карамелей, вафель и тортов, обязательным компонентом которых должен быть один или несколько разновидностей орехов). В зависимости от номенклатуры конкретного кондитерского предприятия, комплекс может комплектоваться любым набором и количеством дозаторов, дозаторов - смесителей и других представленных единиц оборудования для отработки рецептур, что предъявляет особые требования к системе управления и регулирования. Суть которых заключается в выполнении каждой единицы автоматизированного оборудования в законченном виде, то есть, имеющем самостоятельную систему контроля и управления с возможностью подключения к стандартному интерфейсу. Основным исполнительным механизмом этого оборудования являются АД. При использовании вариаторных приводов решают проблему регулирования скорости дозирования путем изменения уставки на скорость вращения перед началом выпуска заданного вида многокомпонентной смеси, при этом изменяется расход компонентов.

Многодвигательный технологический комплекс приготовления пралиновой смеси (МТК ППС), включает специализированный набор накопительных ёмкостей, дозаторов компонентов, дозаторов добавок, дозаторы - смесители и смеситель компонентов. Основной задачей системы управления и регулирования является определение массы доз компонентов, класс точности 0,3%, и разработка методов оптимального перемешивания смеси.

Приведенный на рис.1 комплекс состоит из следующих единиц оборудования: 1 - бункер жира, 2 - бункер ореха, 3 - бункер-питатель для какао порошка, 4 - бункер-питатель для сухого молока, 5 - микромельница, 6 - бункер-смеситель добавок, 7- бункер-питатель для сахарной пудры, 8 - дозатор орехов, 9 - дозатор добавок, 10 - дозатор сахарной пудры, 11 - смеситель, 12 - дозатор жира, 13 - пробковый кран, 14 - бункер-питатель для орехов, 15 - насос, 16 - трехходовой кран.

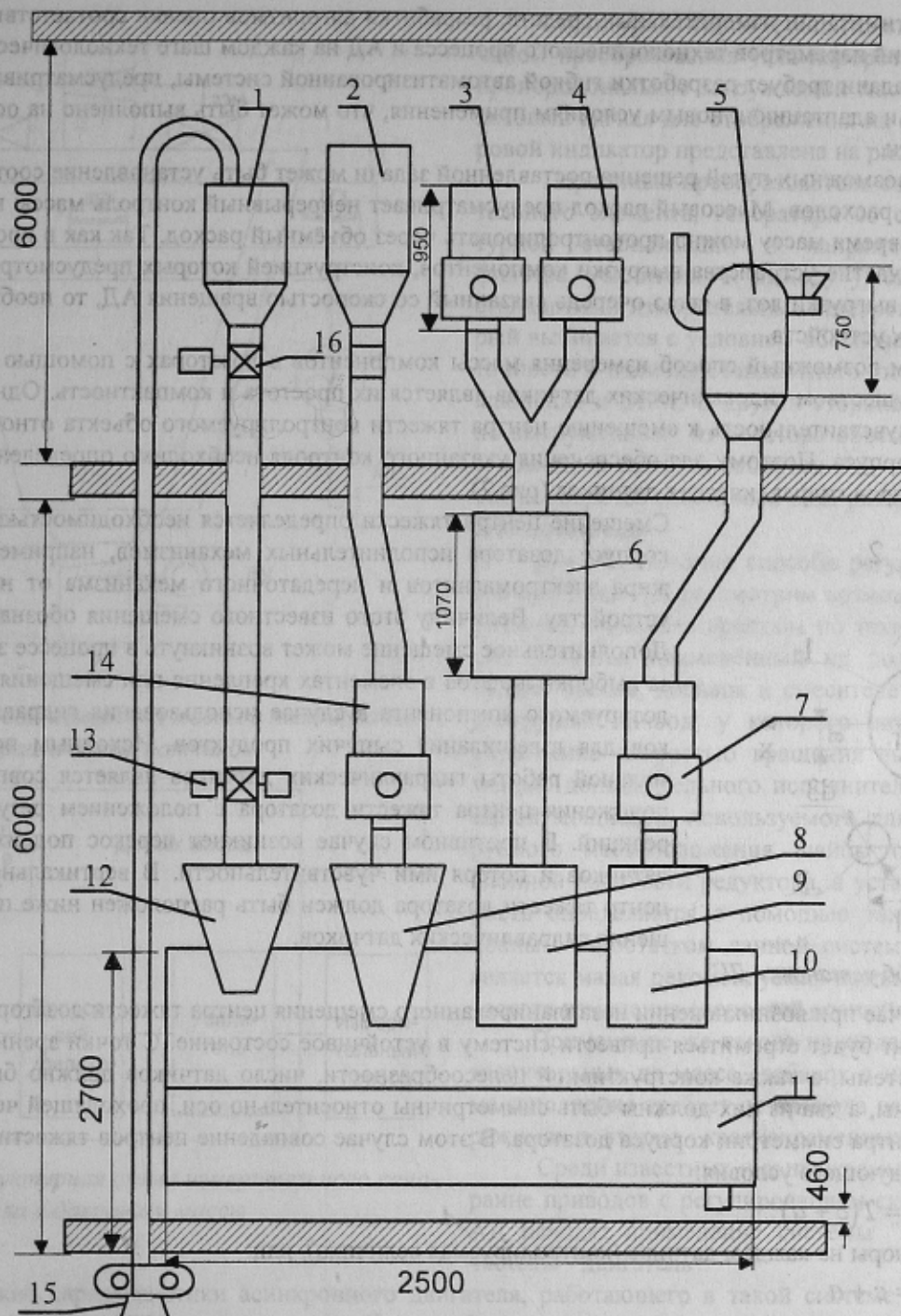


Рисунок 1 - Состав многодвигательного технологического комплекса

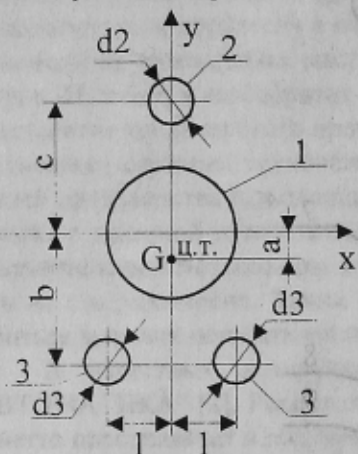
Задача дозирования с заданной точностью может быть решена путём создания оптимальных механизмов взаимодействия объектов с измерительными средствами и на их основе конструкций дозаторов, приспособленных к автоматизации, которые могут выполнить сложные требования к системе управления и регулирования.

Основным исполнительным механизмом оборудования, комплектующего состав МТК ППС, является АД, характеристики которых подобраны в соответствии с требованиями к исполнительным механизмам данного технологического процесса. Таким образом, АД является одним из главных средств автоматизации процесса дозирования и перемешивания и от состояния электропривода во многом зависит надежность и бесперебойность работы комплекса. Выход из строя хотя бы одного из приводов приводит к значительным простоям и связанным с ними потерям выхода продукции, что приносит предприятию значительный ущерб. Система управления комплексом может быть запрограммирована на отработку любого вида рецептурных смесей, где масса добавок не менее 0,2 кг. При малых дозах компонентов по отношению к общей массе готовой смеси исполнительные механизмы могут работать в интенсивных повторно - кратковременных режимах. Поэтому важным становится также организация системы управления и регулирования процессом дозирования и перемешивания, при которой сохраняются номинальные характеристики АД. Отсюда вытекает одно из условий функционирования комплекса - согласование технологических режимов работы дозирующих и перемешивающих объектов МТК ППС с параметрами электродвигателей с целью поддержания их номинальных значений. До настоящего времени задача таким образом не решалась. Разработка такой автоматизированной системы управления и регулиро-

вания требует оптимизации измерительных средств, разработки алгоритмов оценки соответствия номинальных и текущих значений параметров технологического процесса и АД на каждом шаге технологического цикла. Выполнение такой задачи требует разработки гибкой автоматизированной системы, предусматривающей перекомпоновку модулей и адаптацию к новым условиям применения, что может быть выполнено на основе микропроцессорной техники.

Одним из возможных путей решения поставленной задачи может быть установление соответствия массового и объёмного расходов. Массовый расход предусматривает непрерывный контроль массы в процессе дозирования. В то же время массу можно проконтролировать через объёмный расход. Так как в процессе дозирования принимают участие устройства выгрузки компонентов, конструкцией которых предусмотрен тот или иной способ объёмной выгрузки доз, в свою очередь связанный со скоростью вращения АД, то необходимо согласование работы этих устройств.

Рассмотрим возможный способ измерения массы компонентов в дозаторах с помощью гидравлических датчиков. Преимуществом гидравлических датчиков является их простота и компактность. Одним из недостатков является их чувствительность к смещению центра тяжести контролируемого объекта относительно центра симметрии его корпуса. Поэтому для обеспечения указанного контроля необходимо определение положения и диаметров цилиндров гидравлических датчиков (рис.2).



Смещение центра тяжести определяется необходимостью размещения на корпусе дозатора исполнительных механизмов, например, для дозатора жира электромагнитов и передаточного механизма от них к запорному устройству. Величину этого известного смещения обозначим буквой "а". Дополнительное смещение может возникнуть в процессе эксплуатации из-за выборки люфтов в элементах крепления или смещения центра тяжести дозируемого компонента в случае использования гидравлических датчиков для взвешивания сыпучих продуктов. Исходным положением нормальной работы гидравлических датчиков является совпадение в плане положения центра тяжести дозатора с положением результирующей их реакций. В противном случае возникнет перекося подвижных элементов датчиков и потеря ими чувствительности. В вертикальном направлении центр тяжести дозатора должен быть расположен ниже плоскости размещения гидравлических датчиков.

Рисунок 2 - Способ установки ДГ

В этом случае при возникновении незапланированного смещения центра тяжести дозатора, действующий из-за этого момент будет стремиться привести систему в устойчивое состояние. С точки зрения механической устойчивости системы, а также конструктивной целесообразности, число датчиков должно быть равно трем, диаметры их равны, а два из них должны быть симметричны относительно оси, проходящей через центр тяжести системы и центра симметрии корпуса дозатора. В этом случае совпадение центров тяжести обеспечивается выполнением следующего условия:

$$2T(b - a) = T(c + a),$$

где  $T$  - реакция опоры на каждом датчике (контролируемая величина), или:

$$2(b - a) = c + a,$$

С другой стороны для повышения точности измерений и чувствительности гидравлических датчиков, давление в цилиндрах  $P$  не должно превышать  $P = 0,5 - 0,7 \text{ кг/см}^2$ . Исходя из этого условия диаметры цилиндров датчиков должны быть равны.

$$d = \sqrt{\frac{4G}{3\pi P}},$$

где  $G$  - масса дозатора вместе с дозируемым продуктом.

В результате использования гидравлических датчиков на дозаторах жира, (схема способа измерений показана на рис.3), получаем возможность незлектрического суммирования входной величины и использование всего лишь одного чувствительного элемента для контроля пропорционального массе перемещения стрелки стандартного манометра высокого класса точности.

Поэтому дальнейшей задачей завершения этого измерительного канала необходимо разработать чувствительный элемент, преобразующий входную величину и аналоговый преобразователь для дальнейшего преобразования сигнала и стыковки его с микроЭВМ.

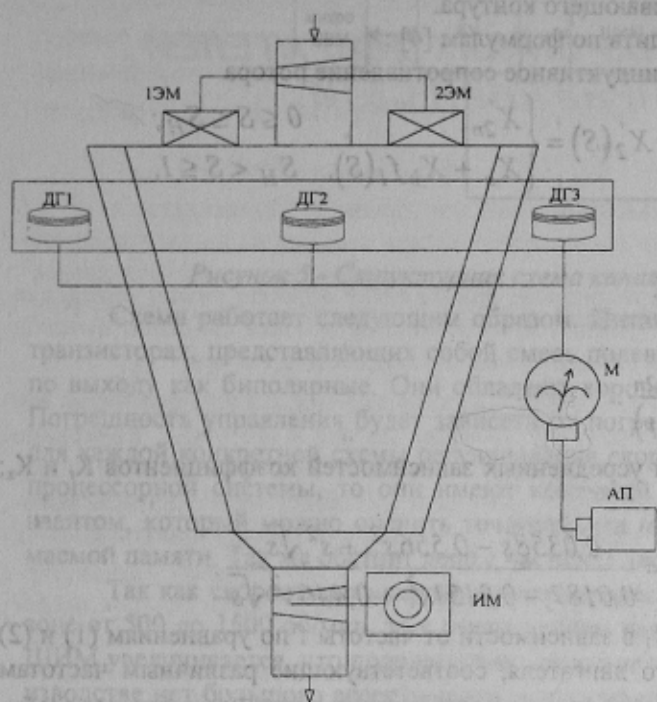


Рисунок 3 - Способ измерения массы с помощью гидравлических датчиков

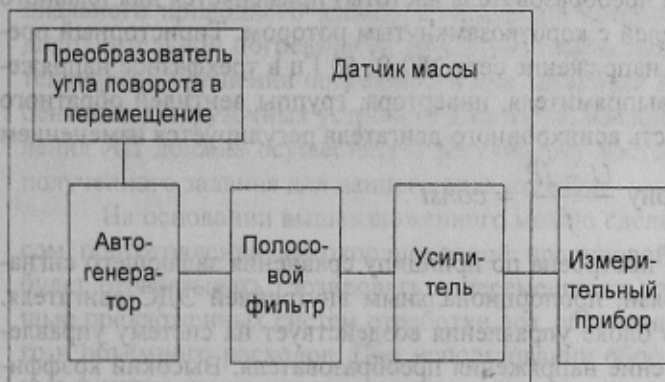


Рисунок 4 - Структурная схема измерительного канала с датчиком массы

Механические характеристики асинхронного двигателя, работающего в такой системе, определяются в первую очередь частотой и напряжением на выходе преобразователя.

Расчет механических характеристик для конкретного двигателя может быть выполнен по формуле:

$$M = \frac{3U_1^2 r_2' / S}{\omega_c f_*(S) \left[ \left( r_1 + Cf(S) \frac{r_2'}{S} \right)^2 + \left( x_1 + Cf(S) x_2' \right)^2 f_*^2 \right]} \quad (1)$$

где  $U_1$  - фазное напряжение статора;  $r_1$ ,  $x_1$  - активное и реактивное сопротивление статора;  $r_2'$ ,  $x_2'$  - активное и реактивное сопротивление ротора, приведенные к обмотке статора;  $\omega_c$  - синхронная угловая скорость двигателя при частоте 50 Гц;  $S$  - скольжение;  $f_* = f/f_H$  - частота в долях номинальной;  $Cf$  - модуль, учитывающий влияние намагничивающего контура.

Величина  $Cf$  может быть определены из уравнения [3]:

$$Cf = \frac{1}{r_0^2 + x_0^2 f_*^2(S)} \cdot \sqrt{\left[ (r_1 + r_0) r_0 + (x_1 + x_0) x_0 f_*^2(S) \right]^2 + \left[ (r_1 + r_0) x_0 f_*(S) + (x_1 + x_0) r_0 f_*(S) \right]^2} \quad (2)$$

Структурная схема измерительного канала с датчиком преобразования угла поворота в перемещение, пропорциональное загружаемой массе, и далее в аналоговый сигнал для отображения на стандартный цифровой индикатор представлена на рис. 4.

Первичный преобразователь состоит из чувствительного элемента, генератора со схемами температурной стабилизации и напряжения, полосового фильтра, усилителя. К выходу усилителя подключён стандартный измерительный цифровой прибор, который выбирается с условием обеспечения необходимой точности и наличия стандартного интерфейса для подключения к ЭВМ. С другой стороны контроль массы по выгруженному из дозатора объёму обеспечивается с помощью датчика скорости АД или датчика счёта числа оборотов выходного вала разгрузочного устройства дозаторов.

Для обоснования способа регулирования скорости вращения АД рассмотрим возможные технические решения. Наиболее простым по технической реализации является применённый на дозаторах сахарной пудры, орехов, добавок и смесителе компонентов вариаторный привод, у которого автоматизированное управление скоростью вращения выполняется с помощью дополнительного исполнительного механизма малой мощности, используемого для выбора регулируемого местоположения шайбы относительно наклонной плоскости редуктора, а устанавливаемая скорость определяется с помощью тахогенератора. Основным недостатком данной системы регулирования является малая рекомендуемая паспортными данными частота изменения скоростей вращения.

Применение же такого привода для загрузки незначительных по массе добавок в интенсивном режиме заполнения требует от привода надёжной работы в режимах повторно - кратковременных включений.

Среди известных и выпускаемых серийно на Украине приводов с регулированием скорости вращения АД находят применение системы "преобразователь частоты - двигатель".

где  $r_0, x_0$  - активное и реактивное сопротивления намагничивающего контура.

Сопротивления ротора при любом скольжении будем находить по формулам [4]:

активное сопротивление ротора

индуктивное сопротивление ротора

$$R'_2(S) = \begin{cases} R'_{2n}, & 0 \leq S \leq S_H; \\ R_a + R_b f_1(S), & S_H < S \leq 1; \end{cases}$$

$$X'_2(S) = \begin{cases} X'_{2n}, & 0 \leq S \leq S_H; \\ X_a + X_b f_1(S), & S_H < S \leq 1, \end{cases}$$

где

$$R_a = \frac{R'_{2n} - R'_{2n} f_1(S_H)}{1 - f_1(S_H)}; \quad R_b = \frac{R'_{2n} - R'_{2n}}{1 - f_1(S_H)};$$

$$X_a = \frac{X'_{2n} - X'_{2n} f_2(S_H)}{1 - f_2(S_H)}; \quad X_b = \frac{X'_{2n} - X'_{2n}}{1 - f_2(S_H)}.$$

Здесь  $f_1(S)$  и  $f_2(S)$  - функции, полученные аппроксимацией усредненных зависимостей коэффициентов  $K_r$  и  $K_s$ ; они равны соответственно

$$f_1(S) = \frac{0,0185s - 0,375s^2 + s^2 \sqrt{s}}{0,035 + 0,612s^2 \sqrt{s}}; \quad f_2(S) = \frac{0,0358s - 0,556s^2 + s^2 \sqrt{s}}{0,0187 - 0,0151s^2 + 0,446s^2 \sqrt{s}}.$$

Задавая различные законы изменения напряжения  $U_1$  в зависимости от частоты  $f$  по уравнениям (1) и (2) рассчитываем механические характеристики асинхронного двигателя, соответствующие различным частотам при поддержании  $U/f = const$ . Для расширения диапазона регулирования используют АД с системой, стабилизирующей магнитный поток при помощи обратных связей. Использование датчика потока (например, датчика Холла) позволяет построить систему с обратной связью по потоку.

Преобразователь частоты серии ТПЧ (тиристорный преобразователь частоты) применяется для плавного изменения угловой скорости асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором. Тиристорный преобразователь частоты серии ТПЧ преобразует трехфазное напряжение сети 380 В, 50 Гц в трехфазное напряжение регулируемой амплитуды и частоты. Он состоит из выпрямителя, инвертора, группы вентилей обратного тока, системы управления и блока питания. Угловая скорость асинхронного двигателя регулируется изменением частоты и напряжения на зажимах обмотки статора по закону  $\frac{U - IR}{f} = const$ .

Замкнутая система автоматического регулирования построена по принципу сравнения задающего сигнала, пропорционального частоте, с сигналом обратной связи, пропорциональным внутренней ЭДС двигателя. Разность сигналов через полупроводниковый усилитель в блоке управления воздействует на систему управления выпрямителем, обеспечивающую необходимое изменение напряжения преобразователя. Высокий коэффициент усиления позволяет стабилизировать напряжение на двигателе с точностью 2%.

Точное поддержание скорости двигателя без введения обратной связи по угловой скорости возможно благодаря высокой стабильности рабочей частоты на выходе системы управления инвертором и жесткой механической характеристикой асинхронного двигателя. Схема преобразователя обеспечивает за счет изменения частоты и напряжения плавный пуск (с помощью тахогенератора или задатчика интенсивности), регулирование скорости двигателя в диапазоне 12:1 и частотное торможение без рекуперации энергии в сеть.

При частотном пуске необходимо, чтобы темп нарастания скорости двигателя опережал или равнялся темпу нарастания частоты. Недостатком таких систем управления является то, что применение тиристоров в преобразователях усложняется процессом их управления, а именно, процессом их запираания, что требует ввода в схему дополнительных цепей.

Наиболее передовым, по видимому, является способ управления скоростью вращения АД, реализованный на элементной базе фирмы "International Rectifier" с помощью микропроцессорного устройства, собранного на базе микропроцессора AT89C55. Закон регулирования оказывает влияние только на параметры блока широтно - импульсной модуляции (ШИМ последовательности), а она предварительно определена путём моделирования на основании выбранного закона и занесена в память микроконтроллера. Следовательно, задание закона регулирования скорости вращения АД реализовано программным путём, что делает систему более гибкой.

Таким образом, используя информацию от датчиков массы, можно определить массовый расход компонентов. Используя информацию от датчика скорости, можно определить объёмный расход компонентов. Если разница между ними  $\epsilon$  не превышает допустимое значение  $\epsilon_d$ , то процесс дозирования выполняется в соответствии с требованиями. Структурная схема системы управления скоростью АД с использованием IGBT - транзисторов представлена на рис. 5.

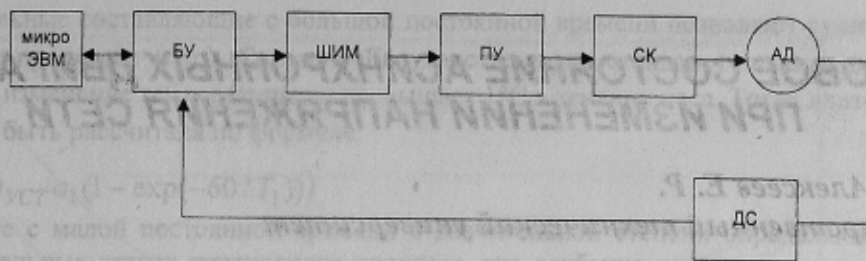


Рисунок 5 - Структурная схема канала управления скоростью вращения АД дозатора

Схема работает следующим образом. Питание обмоток двигателя выполнено от ШИМ - регулятора на транзисторах, представляющих собой смесь полевых с биполярными. IGBT по входу работают как полевые, а по выходу как биполярные. Они обладают хорошими импульсными характеристиками и высокой крутизной. Погрешность управления будет зависеть от погрешности измерительной и исполнительной системы. Так как для каждой конкретной схемы регулирования скоростью последовательности ШИМ хранятся в памяти микропроцессорной системы, то они имеют конечный размер. Скорость вращения регулируется с определённым квантом, который можно оценить точностными показателями датчика скорости и показателями объёма занимаемой памяти. Так же обстоит дело с частотой дискретизации последовательности ШИМ.

Так как скорость регулирования асинхронного двигателя по данному методу может находиться в диапазоне от 500 до 1500 об/мин, то с уменьшением частоты вращения количество разбиений в последовательности ШИМ увеличивается, что положительно сказывается на спектре выходного сигнала. Так как в конкретном производстве нет большого ассортимента выпускаемой продукции, то моделированием уставки на изменение скорости могут быть заранее определены и их хранение не требует большого объёма памяти.

Погрешность исполнительной системы не должна превышать  $\pm 0,25$  об/мин. Такая точность достигается введением обратной связи по скорости вращения с использованием импульсного датчика числа оборотов и специального приводного элемента, благодаря которому точность может быть повышена до уровня основной и дополнительной погрешности точностной характеристики дискретного измерительного устройства. При таком техническом решении погрешности при остановке АД будут минимальными, что очень важно, если учесть особенности разгрузочных устройств дозаторов, имеющих некоторый объём выгружаемых порций. Система управления АД должна осуществлять регулировку частоты вращения на основании контролируемых параметров и полученного задания для данного вида изделия.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что система управления и регулирования процессом приготовления высокооднородной пралиновой смеси многодвигательным технологическим комплексом будет обрабатывать (дозировать и перемешивать) заданную многокомпонентную рецептурную смесь с помощью предложенных систем обработки доз, обеспечивающих согласованный контроль и регулирование массового и объёмного расходов. При использовании обособленного управления каждым видом оборудования основные физические процессы моделируются заранее, а управляющие воздействия хранятся в памяти микропроцессорных модулей. При управлении комплексом от общей ПЭВМ моделирующие алгоритмы могут работать в реальном времени протекания физических процессов и одновременно производить анализ хода технологического процесса. В данном случае целесообразно использование пакетов прикладных программ типа Delphi. С их помощью в реальном времени можно наблюдать за изменением параметров на экране, что значительно повышает комфортность обслуживания комплекса.

#### ЛИТЕРАТУРА.

1. Методические рекомендации по метрологическому обеспечению технологических процессов в хлебопекарной и кондитерской промышленности. / А.Н. Норенко, А.Н. Сочев, А.М. Козакевич, Т.Б. Вандалковская, А.В. Залуцкий - Киев, 1979г. -73с.
2. Дозирующие комплексы "СИГНАЛ М-1" и "СИГНАЛ М-2", Паспорт АБ 002 ПС].
3. Ларина Е.Ю. Разработка целевой функции для системы управления и регулирования скоростью дозирования компонентов / Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація, випуск 12: - Донецьк: ДонДТУ, ТОВ "Лебідь, 1999. -327 с."
4. Мощинский Ю.А., Беспалов В.Я., Кирякин А.А. Определение параметров схемы замещения асинхронной машины по каталожным данным. - Москва, журнал "Электричество" №4, 1998 г.С 38-42.