



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Технический сервис машин»

Сборник задач по дисциплине

«Автоматизация сельскохозяйственных машин и оборудования»

Авторы
Радин В.В.,
Адамчукова Е.Ю.

Ростов-на-Дону
2015



Аннотация

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Автоматизация сельскохозяйственных машин и оборудования» предназначены для студентов 3,4 и 6 курса, обучающихся по направлению «Агроинженерия» очной и заочной формы обучения.

Дается необходимый методический материал, порядок выполнения лабораторно-практических работ, вопросы для контроля знаний студентов по теме выполненной работы.

Авторы

Д.т.н., профессор В.В. Радин

Старший преподаватель Е.Ю. Адамчукова





ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1	5
Общие сведения	5
Содержание работы	10
Оформление отчета	10
Выводы	10
Контрольные вопросы	11
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2	12
Общие сведения	12
Содержание работы	26
Порядок выполнения работы и составление отчета	26
Выводы	26
Контрольные вопросы	27
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3	28
Общие сведения	28
Содержание работы	32
Порядок выполнения работы и составления отчета	32
Оформление отчета	32
Выводы	33
Контрольные вопросы	33
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4	34
Общие сведения	34
Содержание работы	41
Порядок выполнения работы и составление отчета	42
Выводы	43
Контрольные вопросы	43
Список использованной литературы	45



ВВЕДЕНИЕ

Целью выполнения лабораторно-практических работ является развитие у студентов навыков практической реализации накопленных знаний по дисциплине «Автоматика». Это позволяет студентам на основе полученного задания и изученного материала разрабатывать элементы курсовых и дипломного проектов и в дальнейшем на производстве, в сфере технического обслуживания и ремонта машин в АПК уметь производить настройки автоматического оборудования, позволяющие получать оптимальный и надежный технологический процесс работы машин.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

«Разработка принципиальной схемы системы автоматической стабилизации загрузки зерноуборочного комбайна на основе линейного регулятора РП»

Цель работы: Изучить устройство и принцип действия системы автоматической стабилизации загрузки зерноуборочного комбайна. Составить принципиальную схему системы. Определить зону изменения скорости комбайна в процессе регулирования. Установить принцип управления.

Общие сведения

Разработка принципиальной схемы системы автоматической стабилизации загрузки зерноуборочного комбайна на основе линейного регулятора РП.

Регулятор РП состоит из датчика 2 толщины слоя хлебной массы (рис.1), находящегося в наклонной камере 1 комбайна, гидрозолотника 6, плунжер которого 13 соединен тросиком 3 с датчиком 2, гидроцилиндра 10, клиноременного вариатора 7 ходовой части комбайна, штуцера 9 гидрореле на систему ручного управления комбайном и механизма 12 настройки регулятора на требуемое значение подачи хлебной массы (задатчика). Требуемое значение подачи всегда обеспечивает соблюдение агротехнических допусков на качество работы комбайна и прежде всего на потери зерна за молотилкой комбайна (не более 1,5%). К гидрозолотнику регулятора масло подводится под давлением $(1,8...2,0) \cdot 10^6$ Па от подпорного клапана 11 и клапана 8 нормального давления масла в гидросистеме регулятора, включенного последовательно в сливную магистраль гидроусилителя рулевого управления.

Датчик 2 толщины слоя хлебной массы представляет собой установленный поперек наклонной камеры 1 вал с тремя ползками 14, опирающимися на нижние ветви цепей плавающего транспортера. Вал поворачивается в самоустанавливающихся подшипниках, укрепленных на боковинах наклонной камеры. С левой по ходу комбайна стороны к валу приварен рычаг, к которому кре-



питься тросик 3, огибающий ролик 15, установленный на оси поворота наклонной камеры 1. Это позволяет исключить влияние высоты положения наклонной камеры из-за копирования поверхности поля жаткой комбайна.

Чем больше подача хлебной массы, тем больше под ее действием поднимается ведомый вал плавающего транспортера, и прогибаются нижние ветви цепей транспортера и тем на больший угол поворачивается рычаг датчика. Вибрация цепей плавающего транспортера и порционность подачи вызывают резкие колебания рычага датчика 2. Для того чтобы они не оказывали существенного влияния на работу регулятора, рычаг датчика соединен с плунжером 13 золотника не жестко, а через компенсирующую пружину 4.

Гидрозолотник состоит из плунжера 13 с конусными бобышками, односторонне поджатого пружиной 5, которая также поджимает полосья 14 датчика 2 к цепям транспортера 1.

Работа автоматической системы происходит следующим образом. При увеличении подачи хлебной массы свыше заданного значения рычаг датчика 2 поворачивается по часовой стрелке и смещает плунжер 13 золотника из нейтрального положения. Масло начинает поступать в нижнюю полость гидроцилиндра 10 вариатора хода комбайна. Блок шкивов вариатора 7 перемещается вверх, вызывая уменьшение поступательной скорости комбайна, а, следовательно, и подачи хлебной массы, пока её значение не достигает заданного уровня. При восстановлении номинального (заданного) значения подачи, устанавливаемого с помощью датчика 12, датчик, а вместе с ним плунжер золотника возвращаются в нейтральное положение, и скорость комбайна перестает меняться.

При уменьшении подачи по сравнению с заданной (номинальной) скорость движения комбайна соответственно увеличивается.

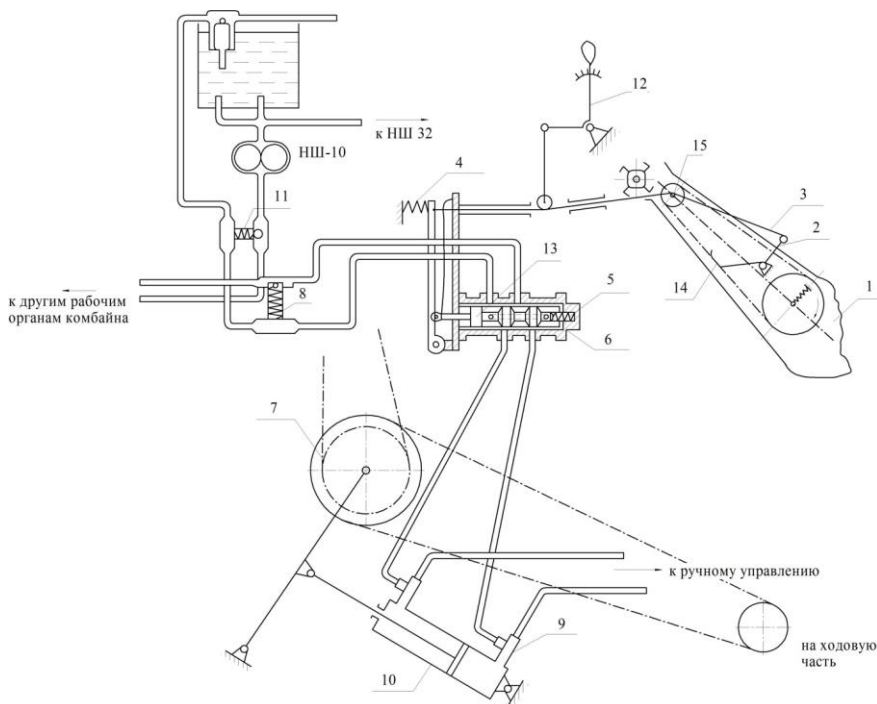


Рис. 1. Принципиальная схема системы автоматической стабилизации загрузки зерноуборочного комбайна: 1 - наклонная камера, 2 - датчик толщины слоя хлебной массы, 3 - тросик датчика толщины слоя хлебной массы, 4 - пружина задатчика 12, 5 - пружина гидрозолотника, 6 - гидрозолотник регулятора, 7 - вариатор хода комбайна, 8 - клапан нормального давления масла в гидросистеме регулятора, 9 - штуцер гидропереключателя на систему ручного управления, 10 - гидроцилиндр вариатора хода, 11 - перепускной клапан стабилизации давления, 12 - задатчик толщины слоя хлебной массы, 13 - плунжер гидрозолотника 6, 14 - ползеты датчика толщины слоя, 15 - ось поворота наклонной камеры.

Таким образом, на участках с повышенной урожайностью скорость движения комбайна автоматически уменьшается, а на участках с пониженной урожайностью скорость комбайна увеличивается так, что подача хлебной массы остается все время на заданном уровне. Для изменения настройки регулятора с одного номинала подачи на другой предназначен механизм настройки 12. Он выполнен в виде двуплечего рычага с роликом, огибаемого



тросиком, на одном конце и рукояткой с фиксатором на другом. Перемещением рукоятки вправо увеличивают регулируемое значение подачи хлебной массы.

Величина подачи хлебной массы определяется по формуле:

$$m = \alpha BvR(1 + \gamma_{\phi}), \quad (1)$$

где R – урожайность убираемой культуры (ц/га),

B – ширина захвата жатки (м),

v – скорость движения комбайна по полю (км/ч),

γ_{ϕ} – коэффициент, определяющий фактическое соотношение зерновой и незерновой частей хлебной массы;

α – коэффициент учитывающий размерность входящих в формулу (1) величин ($\alpha = 1/360$);

Стандартное отношение массы зерна к массе соломы составляет 1:1,5. Тогда $\gamma_{\text{станд}} = 1,5/2,5 = 0,6$.

Задача регулирования – это стабилизация заданного значения подачи хлебной массы. Таким образом, в процессе регулирования постоянно выполняется условие:

$$m = \text{const}. \quad (2)$$

Из условия (2) получаем, что величина скорости движения комбайна по полю будет обратно пропорциональна величине урожайности убираемой культуры. Другими словами всегда после окончания процесса регулирования фактическая скорость комбайна определяется выражением:

$$v = K/R, \quad (3)$$

$$\text{где } K = \frac{m}{\alpha B(1 + \gamma_{\phi})} = \text{const}.$$

На рис. 2. представлен график зависимости скорости комбайна от урожайности культуры.

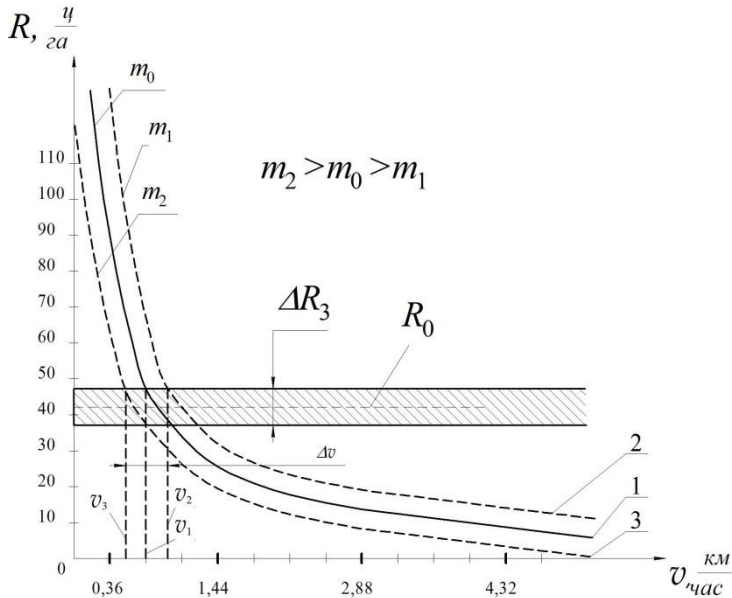


Рис. 2. График зависимости скорости комбайна v от урожайности убираемой культуры R : ΔR - зона изменения урожайности на поле, Δv - зона изменения скорости комбайна в процессе регулирования, m_0 - номинальная (заданная) величина подачи хлебной массы, R_0 - номинальная (заданная) урожайность культуры.

Зная величину m_0 , студент назначает самостоятельно диапазон изменения ΔR урожайности культуры (не более 30% от $R_0 = 30 \frac{t}{\text{га}}$) и рассчитывает зону Δv изменения скорости комбайна в процессе регулирования. Величина Δv в дальнейшем постоянно уточняется при расчете статических коэффициентов передачи отдельных звеньев системы регулирования. При этом руководствуются правилами линейной аппроксимации нелинейных характеристик звеньев. Быстродействие регулятора и точность регулирования определяются скоростью движения штока гидроцилиндра 10. Поскольку плунжер 13 золотника 6 имеет конусные бобышки, то расход масла через золотник, а следовательно, и скорость перемещения штока гидроцилиндра вариатора хода комбайна пропорциональны величине отклонения подачи от



заданного значения m_0 . Другими словами, конусные бобышки превращают существенно нелинейное звено (гидрозолотник) в линейное. Это и позволяет использовать нам в дальнейшем линейную теорию для расчета системы регулирования.

Содержание работы

1. Выделить элементы регулятора и объема регулирования (комбайна) и составить принципиальную схему системы автоматической стабилизации загрузки комбайна
2. Установить принцип регулирования данной системы.
3. Построить график зависимости скорости комбайна u от урожайности культуры R и найти зону регулирования
4. Изучить линейные свойства гидрозолотника управления ходом комбайна.

Оформление отчета

Отчет должен содержать:

1. Краткое описание принципа управления.
2. Принципиальную схему системы стабилизации загрузки зернокомбайна.
3. График зависимости скорости комбайна u от урожайности убираемой культуры R .
4. Зону изменения скорости комбайна Δu в процессе регулирования.
5. Подтверждение принципа регулирования в системе стабилизации загрузки комбайна.

Выводы

1. Система стабилизации загрузки зерноуборочного комбайна работает по принципу регулирования по отклонению регулируемой величины от заданного значения.
2. Настройка системы автоматической стабилизации загрузки на заданную величину подачи хлебной массы осуществляется с помощью задатчика 12 (рис.1).
3. Гидрозолотник 6 (рис.1) с конусными бобышками обеспечивает линейность характеристики гидросилителя.



Контрольные вопросы

1. Каким образом измеряется подача хлебной массы в системе стабилизации загрузки.
2. В чем суть принципа отрицательной обратной связи у данной системы.
3. Какие принципы регулирования вам известны и какой применяется в данной системе.
4. Понятие линейного и нелинейного звена в системе регулирования.
5. Как настраивается система автоматической стабилизации на заданную величину подачи хлебной массы
6. Какое состояние системы стабилизации загрузки определяет статистический режим.
7. Опишите переходный процесс в системе стабилизации загрузки зернокомбайна.
8. Из каких элементов состоит замкнутая система стабилизации загрузки зернокомбайна.
9. Недостатки рассмотренной системы автоматической стабилизации загрузки зернокомбайна.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

«Исследование статистических характеристик отдельных звеньев системы автоматического регулирования подачи хлебной массы»

Цель работы: изучить на конкретном примере системы автоматической стабилизации подачи хлебной массы в зернокомбайне методы построения и расчета статических характеристик отдельных звеньев и выбрать наилучшие значения параметров этих характеристик.

Общие сведения

Расчёт статических характеристик отдельных звеньев системы

Построение функциональной схемы системы регулирования подачи хлебной массы начинаем с обоснования функций каждого из элементов системы регулирования, задействованных при разработке принципиальной схемы системы регулирования (см. лабораторную работу № 1, рис.1, рис. 2).

Зерноуборочный комбайн является в данной системе объектом регулирования (рис. 1). На вход объекта регулирования поступают различные сигналы. А сам он характеризуется двумя элементами: ходовой частью и жатвенной частью. Ходовая часть воспринимает изменения управляющего сигнала Δi вариатора хода комбайна и в соответствии с принципом главной отрицательной обратной связи (*г.о.о.с.*) преобразует этот сигнал в поступательную скорость комбайна v (звено 1, рис. 1). Жатвенная часть комбайна (звено 2, рис. 1) преобразует поступательную скорость комбайна в количество хлебной массы m , поступающей в единицу времени в наклонную камеру комбайна. Подача хлебной массы m оценивается датчиком толщины слоя 4 под плавающим транспортером не мгновенно, когда хлебная масса с поля поступает на платформу жатки, а с некоторой задержкой в τ секунд, равной времени от момента, когда хлебная масса поступает на платформу жатки до того момента, когда она будет измерена датчиком толщины слоя 4. Поэтому между объектом регулирования и датчиком устанавливается звено 3, которое называется звеном чистого запаздывания. Роль этого звена выполняет жатка и частично плавающий транспортер наклонной камеры (рис. 1).



На объект регулирования кроме управляющего сигнала Δi воздействуют также возмущения со стороны почвы на колеса ходовой системы $f_2(t)$ в виде сопротивления колёс перекатыванию и со стороны убираемой культуры на жатвенную часть комбайна $f_1(t)$ в виде переменной урожайности. Эти воздействия являются вероятностными процессами и вызывают случайные изменения регулируемой величины m в функции времени t . Задача системы автоматической стабилизации загрузки комбайна – нейтрализовать действие этих возмущений.

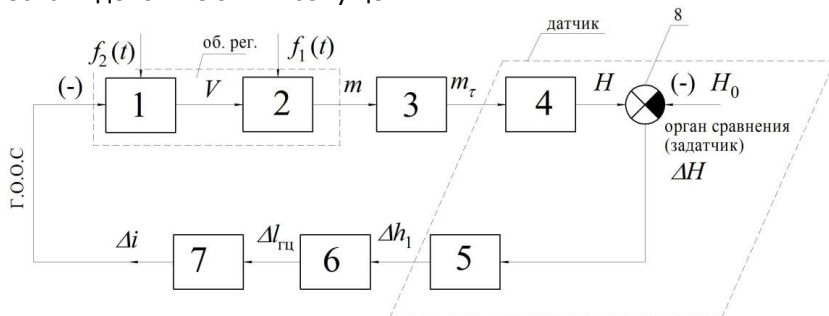


Рис.1 Функциональная схема системы регулирования подачи хлебной массы в зерноуборочный комбайн: 1-ходовая часть комбайна; 2-жатвенная часть комбайна; 3-плавающий транспортер (элемент чистого запаздывания); 4-датчик толщины слоя хлебной массы под плавающим транспортером; 5-гидрозолотник (усилительное звено); 6-гидроцилиндр вариатора хода (исполнительный механизм); 7-вариатор хода комбайна (регулирующий орган); 8-орган сравнения; Г.О.О.С. – главная отрицательная обратная связь, $f_1(t)$, $f_2(t)$ – возмущающие воздействия на ходовую и жатвенную часть комбайна как объекта регулирования подачи хлебной массы.

Итак, функциональная схема системы регулирования подачи хлебной массы в зерноуборочный комбайн (рис. 1), построенная на принципе измерения толщины слоя хлебной массы состоит из следующих элементов: объекта регулирования (звенья 1 и 2), звена чистого запаздывания (звено 3), датчика толщины слоя хлебной массы под плавающим транспортером (звенья 4 и 5) сравнивающего органа (задатчика) (звено 8), усилительного звена состоящего из гидрозолотника 5 и гидросистемы управления



скоростью перемещения комбайна по полю, исполнительного механизма (звено 6), регулирующего органа (звено 7), главной отрицательной обратной связи (Г.О.О.С), обеспечивающей нейтрализацию возмущений $f_1(t)$ и $f_2(t)$, на жатвенную (звено 2) и ходовую часть (звено 1) комбайна и поддерживающей заданное значение толщины слоя хлебной массы под цепями плавающего транспортера а следовательно и заданное значение подачи хлебной массы m в молотилку комбайна.

Анализ данной функциональной схемы показывает, что функции некоторых звеньев совмещены в одном конструктивном устройстве. Например, шток гидрозолотника 6 является и элементом датчика и усилительным звеном, а плавающий транспортер – и звеном чистого запаздывания и датчиком. Поэтому следует конкретизировать каждую функцию каждого из элементов функциональной схемы (рис. 1). Рассмотрим функции конструктивных элементов датчика (рис. 2). Поскольку мы рассматриваем поведение системы регулирования при малых отклонениях регулируемой величины m от заданного значения m_0 , примем, что перемещение h плавающего вала O_2 транспортера отсутствует. Толщина слоя хлебной массы под плавающим транспортером оценивается только за счет перемещения нижнего полза двуплечего рычага 5 датчика. Чем больше толщина слоя массы под цепями плавающего транспортера, тем больше прогиб цепей плавающего транспортера h_2 . Жесткость цепей плавающего транспортера обозначим $C_{ц}$.

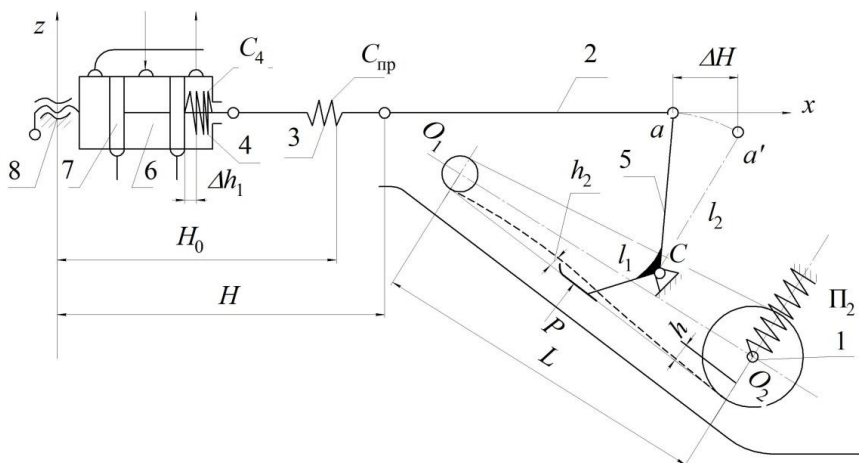


Рис.2. Расчетная схема функциональных преобразований датчика толщины слоя под плавающим транспортером наклонной камеры зерноуборочного комбайна: 1-плавающий вал транспортера наклонной камеры, 2-тросик, 3-пружина демпфера, 4-пружина штока гидрозолотника, 5-двуплечий рычаг датчика подачи хлебной массы, 6-гидрозолотник, 7-шток гидрозолотника, 8-задатчик, P -усилие подпрессовывания хлебной массы в наклонной камере, C_{np} , C_4 – коэффициент жесткости пружин 3 и 4.

Усилие подпрессовывания хлебной массы под плавающим транспортером P вызывает поворот двулучевого рычага вокруг точки C (рис. 4). При заданной подаче m_0 хлебной массы с помощью задатчика 8 шток гидрозолотника устанавливается в нейтральном положении. Таким образом, функциональная схема датчика будет состоять из трех элементов: двулучевого рычага 5, задатчика 8 и тросика 2 со штоком гидрозолотника 7. Эта функциональная схема датчика представлена на рис.5.

Хлебная масса, поступив на жатку комбайна с некоторой задержкой τ , оценивается звеном 1 (рис. 5) в виде величины m_τ и преобразуется в сигнал H , который сравнивается с сигналом H_0 , выдаваемым задатчиком 8. На выходе задатчика 8 появляется сигнал, равный разности двух величин, т.е. $\Delta H = H - H_0$.

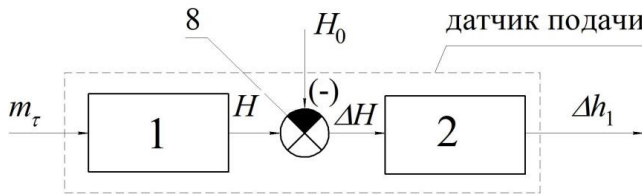


Рис. 3. Функциональная схема датчика подачи

Сигнал ΔH воспринимается звеном 2 и преобразуется в сигнал Δh_1 , отклонения штока 7 гидрозолотника 6. Преобразование общего усилия подпрессовки хлебной массы в толщину слоя потока массы под плавающим транспортером устанавливаем, составляя уравнение равновесия всех действующих сил на механизм датчика, в проекции на ось X (рис. 2).

$$P - \left[\frac{C_{ц} l_1 + C_{пр} l_2 C_4}{l_1 C_{пр}} + (C_{пр} + C_{ц}) \right] h_1 = 0 \quad (1)$$

где $C_{ц}$ – коэффициент жесткости цепи плавающего транспортера, C_4 – коэффициент жесткости пружины гидрозолотника, $C_{пр}$ – коэффициент жесткости пружины демпфера 3, h_1 – перемещение штока гидрозолотника.

Из теории прессования соломы известна формула, определяющая удельное усилие сжатия $P_{уд}$, действующее на ползцы двуплечего рычага датчика подачи 5:

$$P_{уд} = \alpha m^2, \quad (2)$$

где $P_{уд}$ – удельная сила сжатия соломы цепями плавающего транспортера,

α – эмпирический коэффициент,

m – подача хлебной массы

В свою очередь удельная сила $P_{уд}$ связана с общим усилием P , следующим соотношением:

$$P_{уд} = \frac{P}{FK_1} \quad (3)$$

где F – площадь, которой цепи плавающего транспортера



давят на хлебную массу,

K_1 – коэффициент заполнения объема под цепями плавающего транспортера.

В результате из выражений (4) - (6) получаем зависимость между подачей хлебной массы m и перемещением штока гидрозолотника h_1 .

$$h_1 = 2,2 + Am^2, \quad (4)$$

$$\text{где } A = \frac{\alpha FK_1 l_1 C_{\text{пр}}}{(C_{\text{ц}1} l_1 - C_{\text{пр}} C_4) \cdot (C_{\text{пр}} + C_4) l_1 C_{\text{пр}}}$$

В задании (см. П1, таблица 1) для каждого варианта расчета имеются значения коэффициента A и номинальной подачи m_0 . Студент строит в масштабе зависимость (4) в виде графика (рис. 4) и обосновывает зону допустимой линеаризации нелинейной характеристики (рис. 5). Касательная к кривой 1 в точке номинального значения подачи хлебной массы m_0 определяет тангенс угла γ :

$$\frac{dh_1}{dm} = 2Am; \quad \text{при } m = m_0$$

$$\text{имеем } 2Am_0 = K_2 = tg\gamma$$

где γ – угол наклона касательной в точке номинального режима работы системы.

Значения коэффициента передачи датчика, вычисленные по выражению:

$$K_2 = 2Am_0 \quad (5)$$

и по формуле: $K_2 = tg\gamma$ не должна отличаться одно от другого более чем на 10% - 15% .

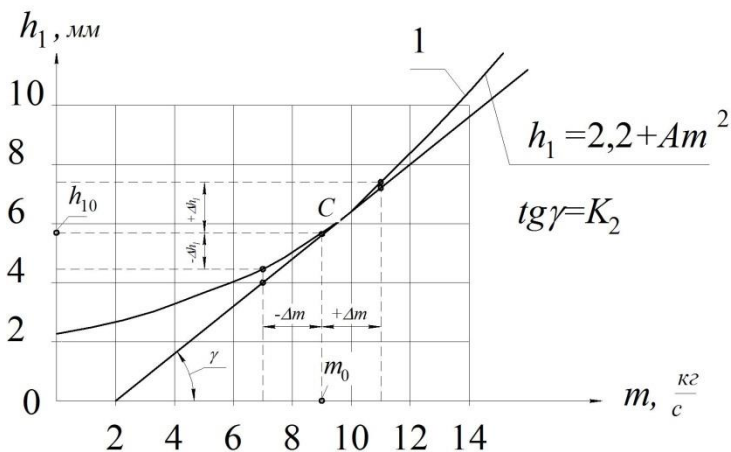


Рис.4. Построение статической характеристики датчика подачи хлебной массы

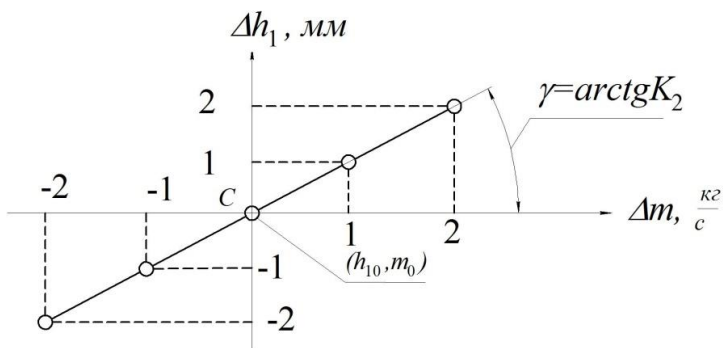


Рис.5. Линейризация нелинейной характеристики датчика подачи хлебной массы.

Сигнал Δh_1 от датчика не способен произвести перемещение шкивов вариатора хода комбайна. Поэтому в системе применён гидроусилитель пропорционального типа. Для построения статической характеристики гидроусилителя и определения коэффициента усиления сигнала Δh_1 по мощности рассмотрим свойства гидрозолотника, как гидравлического звена (рис. 8.).

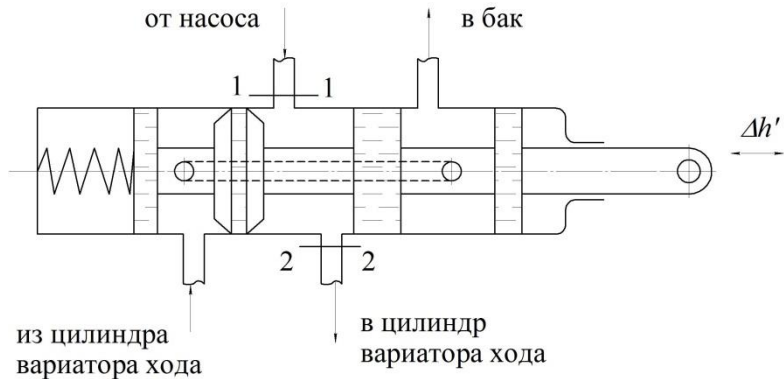


Рис.6. Функциональная схема гидрозолотника вариатора хода комбайна как усилителя мощности сигнала датчика Δh_1 .

Скорость струи жидкости, устремляющейся в гидрозолотник через сечение 1-1 (рис. 6) определяется по формуле

$$V_c = \varphi \sqrt{\left[(P_{\text{п}} - P_{\text{сл}}) - \frac{F_{\text{н}}}{S\eta_{\text{м}}} \right] \cdot \frac{g}{\gamma}} \quad (6)$$

где φ - коэффициент, учитывающий сжатие струи жидкости, принимаемый в наших расчетах: $\varphi = 1$, $P_{\text{п}}$ - давление жидкости в питающем трубопроводе, $P_{\text{сл}}$ - давление жидкости в сливном трубопроводе, $F_{\text{н}}$ - задаваемое максимальное полезное сопротивление в гидроцилиндре вариатора хода, S - Рабочая площадь поршня гидроцилиндра вариатора хода, $g = 9,8 \text{ см}/\text{с}^2$, γ - удельный вес масла в гидросистеме, $\eta_{\text{м}}$ - механический коэффициент полезного действия гидроцилиндра.

Секундный расход Q рабочей жидкости при открытии щели гидрозолотника Δh по сечению 1 - 1 определяются следующими соотношениями:

$$Q = S v_{\text{пц}} = v_c \varepsilon \Delta h_1 l \quad (7)$$

где $v_{\text{пц}}$ - скорость поршня (штока) гидроцилиндра вариатора хода, ε - коэффициент сжатия струи жидкости в гидросистеме, l - длина щели гидрозолотника.

Из выражений (6) и (7) получаем формулу для определения скорости перемещения штока гидроцилиндра вариатора хода комбайна в зависимости от величины открытия щели гидрозолотника Δh_1 :

$$v_{\text{гц}} = \frac{\varphi \varepsilon l}{S} \sqrt{\left[(P_{\text{п}} - P_{\text{сл}}) - \frac{F_{\text{н}}}{S \eta_{\text{м}}} \right] \cdot \frac{g}{\gamma}} \cdot \Delta h_1 \quad (8)$$

Полагаем в формуле (8):

$$K_3 = \frac{\varphi \varepsilon l}{S} \sqrt{\left[(P_{\text{п}} - P_{\text{сл}}) - \frac{F_{\text{н}}}{S \eta_{\text{м}}} \right] \cdot \frac{g}{\gamma}}$$

Тогда, учитывая, что скорость перемещения штока гидроцилиндра $v_{\text{гц}}$ есть производная функция по времени от перемещения $\Delta l_{\text{гц}}$ штока гидроцилиндра, получаем выражение статической характеристики системы гидрозолотник – гидроцилиндр вариатора хода комбайна как исполнительного механизма:

$$\frac{d\Delta l_{\text{гц}}}{dt} = K_3 \Delta h_1 \quad (9)$$

Интегрируя функцию (9), получаем величину перемещения штока гидроцилиндра $\Delta l_{\text{гц}}$ в функции времени:

$$\Delta l_{\text{гц}} = K_3 \int_0^t \Delta h_1 dt \quad (10)$$

Выражение (10) показывает, что исполнительный механизм (гидроцилиндр вариатора хода) есть интегрирующее (астатическое) звено.

Как показали исследования Шеповалова В.Д. [2], для улучшения качества процесса регулирования подачи хлебной массы в комбайн, плунжер гидрозолотника должен иметь конусные бобышки (рис. 6). Расход масла через такой золотник, а, следовательно и скорость $v_{\text{гц}}$ перемещения штока гидроцилиндра вариатора хода комбайна будут пропорциональны величине отклонения подачи хлебной массы от заданного значения. Большие отклонения отрабатываются быстрее, малые – медленнее. Реальная и линеаризованная характеристики системы гидрозолотник – гид-



роцилиндр вариатора хода комбайна показаны на рис. 7. Гидрозолотник имеет небольшую зону нечувствительности $2b$, которой мы в расчетах пренебрегаем. Линеаризованная характеристика гидрозолотника показана на рис. 7 пунктиром. Максимальная величина хода гидрозолотника $\Delta h_{1\max}$ равна $2a$, после которой наступает режим насыщения. Временная характеристика системы гидрозолотник - гидроцилиндр представлена на рис. 8. Характеристика построена для случая $\Delta h_{1\max} = a$. Она определяет максимальную скорость перемещения штыка гидроцилиндра вариатора хода комбайна. Коэффициент усиления K_3 интегрирующего звена, определяется для линеаризованной характеристики из выражения (8) и мало отличается от реального коэффициента усиления K_3' (см. рис. 7).

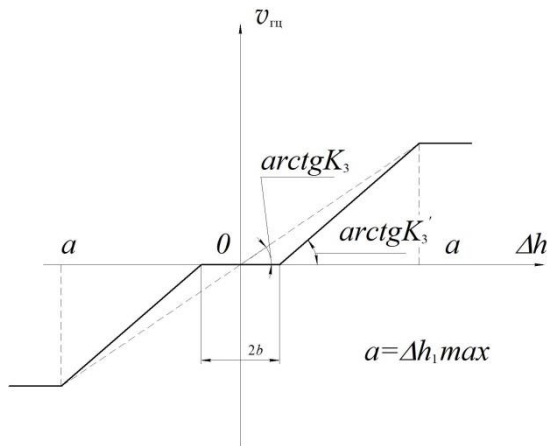


Рис.7. Реальная и линеаризованная характеристики усилителя мощности: $\Delta h_{1\max} = a$ - максимальная величина перемещения штока гидрозолотника; K_3' - коэффициент усиления реального гидроусилителя, $2b$ - зона нечувствительности реального гидроусилителя.

Итак, в соответствии с принятой функциональной схемой системы регулирования подачи хлебной массы (рис. 1) гидроцилиндр вариатора хода есть усилительное звено 6, осуществляющее функциональное преобразование по выражению (10). Оно устанавливает взаимно одно- значное соответствие не с са-



мой величиной перемещения штока гидроцилиндра, а со скоростью его перемещения. Такие звенья в теории регулирования называются астатическими или интегрирующими.

Вариатор хода 7 (рис. 1) преобразует перемещение штока гидроцилиндра $\Delta l_{\text{гц}}$ в изменение передаточного отношения Δi клиноременного вариатора хода комбайна в соответствии с принципиальной схемой работы (рис. 9, а).

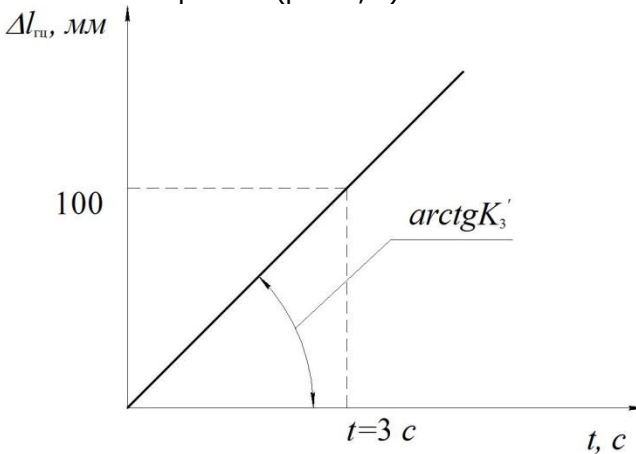


Рис.8 Временная характеристика системы гидрозолотник-гидроцилиндр, как интегрирующего (астатического) звена: $\Delta l_{\text{гц}}$ – перемещениештока гидроцилиндра вариатора хода комбайна, t – время.

Вариатор хода 7 регулирует скорость v перемещения комбайна по полю (рис. 9, б).

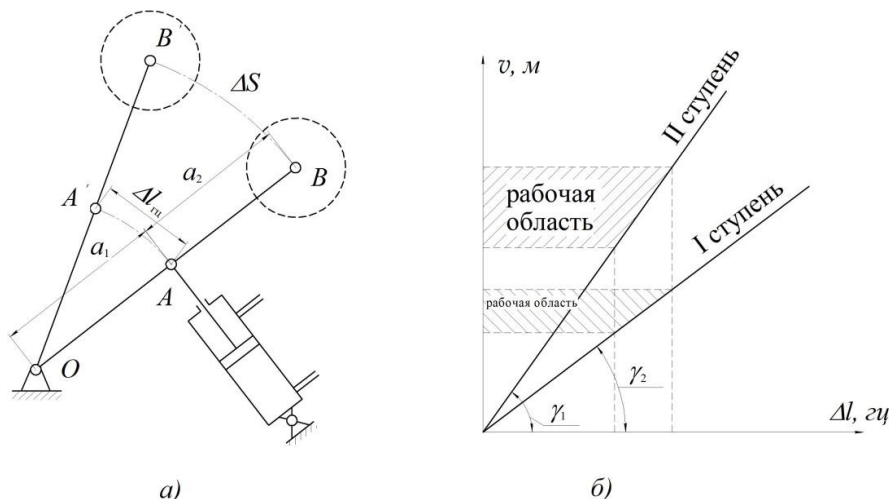


Рис 9. Принципиальная схема работы вариатора хода комбайна (а); (б) – графики скорости комбайна v в зависимости от изменения положения штока гидроцилиндра $\Delta l_{гц}$ вариатора хода для I и II ступеней коробки перемены передач.

Из схемы рис. 9. а, легко установить следующее соотношение:

$$\Delta i = K_S \cdot (1 + a_1/a_2) \cdot \Delta l, \quad (11)$$

где Δi – изменение передаточного числа вариатора хода комбайна,

K_S – коэффициент пропорциональности посадки ремней на ведущей и ведомой ветвях вариатора;

a_1, a_2 – плечи рычага вариатора хода.

Полагая, что в условиях нормальной эксплуатации коэффициент K_S не изменяется, можем записать соотношение:

$$\Delta i = K_4 \Delta l_{гц} \quad (12)$$

где коэффициент передачи K_4 вариатора как регулирующего органа равен:

$$K_4 = K_S \cdot (1 + a_2/a_1) \quad (13)$$

Объект регулирования – зерноуборочный комбайн имеет свою функциональную схему, составленную из последовательной

цепи воздействий, включающей три элемента, указанные на рис. 10.

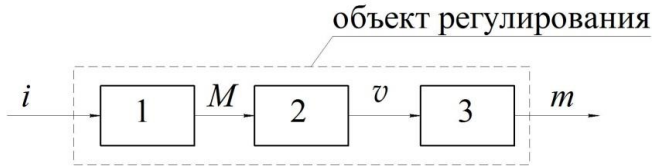


Рис. 10 Функциональная схема зерноуборочного комбайна как объекта регулирования: 1 – преобразование передаточного отношения i вариатора хода в крутящий момент M на осях ведущих колеса, 2 – преобразование крутящего момента M в поступательную скорость комбайна v ; 3 – преобразование поступательной скорости комбайна v в подачу хлебной массы m .

Эти преобразования в первом приближении могут быть описаны следующими аналитическими зависимостями:

$$\left. \begin{aligned} M &= \frac{K_5}{i} \\ v &= K_6 M^2 \\ m &= K_7 v \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

где K_5, K_6, K_7 - задаваемые эмпирические коэффициенты.

Используя данные, представленные в (П1, таблица 1), строим функцию $m = (f)$ по уравнению:

$$m - K_7 K_6 (K_5)^2 \cdot i^{-2} = 0; \quad (15)$$

Из уравнения (15) находим производную функцию:

$$\frac{dm}{di} = \operatorname{arctg} K_0 = -\frac{2}{i^3} \Big|_{i=i_0} = -2/i_0^3$$

где $K_0 = K_7 K_6 K_5^2$ - коэффициент передачи объекта регулирования.

Аналогичное значение производной функции в точке с координатами (m_0, i_0) , может быть получено графическим путем в



четвертом квадранте, как это показано на рис. 11 для построения функции

$$m = m(i) = K_O i^{-2}$$

Касательная к функции $m = K_O i^{-2}$ в точке (m_0, i_0) позволяет определить угол наклона $\alpha_0 = \arctg K_O$. Откуда и получаем значение коэффициента передачи комбайна, как объекта в системе регулирования подачи хлебной массы:

$$K_O = \operatorname{tg} \alpha_0 = -2/i_0^3 \quad (16)$$

где i_0 – значение передаточного отношения вариатора хода в точке номинальной подачи m_0 .

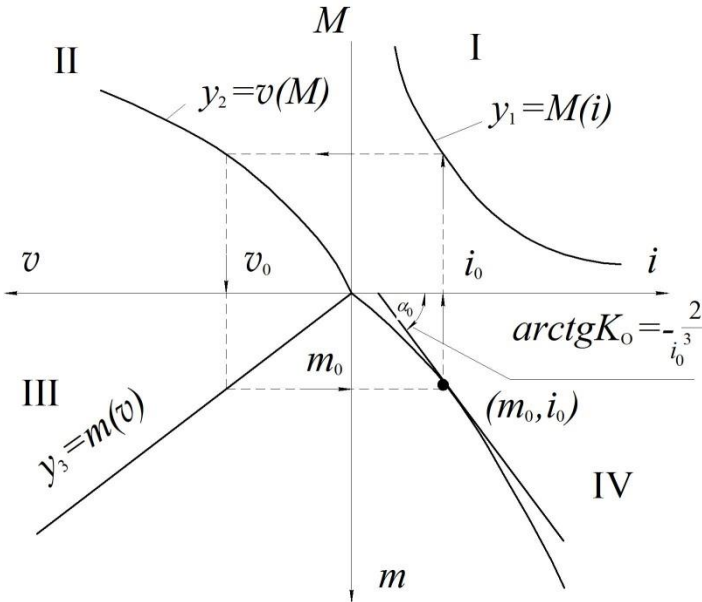


Рис.11 Графическое определение коэффициента передачи комбайна K_O как объекта управления в автоматической системе регулирования подачи хлебной массы.

Отрицательное значение коэффициента передачи комбайна K_O в выражении (16) получается потому, что ось подачи хлебной массы в IV квадранте направлена в отрицательном направ-



лении. Для правильного направления оси m получаем:

$$K_0 = \operatorname{tg} \alpha_0 = 2/i_0^3.$$

Содержание работы

1. Расчет и линеаризация статической характеристики датчика подачи хлебной массы.
2. Статическая характеристика гидроусилителя.
3. Построение и анализ статической характеристики гидроцилиндра.
4. Построение и анализ статической характеристики вариатора хода комбайна.
5. Функциональная схема и статическая характеристика комбайна как объекта регулирования.

Порядок выполнения работы и составление отчета

1. Студент получает теоретический материал с методиками расчета и линеаризации статических характеристик датчика, гидроусилителя, исполнительного механизма (гидроцилиндры), вариатора хода комбайна и объекта регулирования.
2. Пользуясь исходными данными таблицы 1 для своего номера варианта, соответствующего номеру в списке группы, студент выполняет расчеты параметров статистических характеристик и производит линеаризацию нелинейных характеристик.
3. Уточняет значение зоны регулирования подачи хлебной массы на основе анализа статической характеристики объекта регулирования.

Выводы

1. Все статические характеристики рассмотренных звеньев системы автоматического регулирования подачи хлебной массы являются несущественно нелинейными и могут быть заменены линейными моделями.
2. Максимальная зона регулирования, обеспечивающая работу системы в линейном режиме не должна быть больше $0,3 m_0$



Контрольные вопросы

1. Методика определения статических характеристик отдельных элементов системы автоматического регулирования подачи хлебной массы.
2. Из каких элементов реальной системы состоит датчик подачи хлебной массы.
3. Роль и назначение задатчика.
4. Как обеспечивается линейный режим работы гидроусилителя в регуляторе РП.
5. Понятие астатического звена.
6. Каким звеном является гидроцилиндр вариатора хода комбайна.
7. Параметры статической характеристики комбайна как объекта регулирования.
8. Параметры статической характеристики датчика подачи.
9. Параметры статической характеристики вариатора хода комбайна.
10. Параметры статической характеристики исполнительного механизма (гидроцилиндра).
11. Методы графической и аналитической линеаризации статистических звеньев системы.
12. Понятие линейной статистической модели типового звена САУ.
13. Функциональные схемы отдельных звеньев системы автоматического регулирования подачи хлебной массы в зернокомбайне.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

«Исследование статистической характеристики замкнутой системы автоматического регулирования подачи хлебной массы в зернокомбайн».

Цель работы: изучить методику построения статистической характеристики замкнутой системы стабилизации на примере системы автоматического регулирования подачи хлебной массы в комбайн, выполнить анализ реальной статической характеристики замкнутой системы и определить закон регулирования.

Общие сведения

Построение статической характеристики замкнутой системы и определение закона регулирования.

Построение функциональной схемы системы регулирования подачи хлебной массы начинаем с обоснования функций каждого из элементов системы регулирования, задействованных при разработке принципиальной схемы системы регулирования (см. лабораторную работу № 1, рис.1, рис. 2).

Зерноуборочный комбайн является в данной системе объектом регулирования (рис. 1). На вход объекта регулирования поступают различные сигналы. А сам он характеризуется двумя элементами: ходовой частью и жатвенной частью. Ходовая часть воспринимает изменения управляющего сигнала Δi вариатора хода комбайна и в соответствии с принципом главной отрицательной обратной связи (*г.о.о.с.*) преобразует этот сигнал в поступательную скорость комбайна v (звено 1, рис. 1). Жатвенная часть комбайна (звено 2, рис. 1) преобразует поступательную скорость комбайна в количество хлебной массы m , поступающей в единицу времени в наклонную камеру комбайна. Подача хлебной массы m оценивается датчиком толщины слоя 4 под плавающим транспортером не мгновенно, когда хлебная масса с поля поступает на платформу жатки, а с некоторой задержкой в τ секунд, равной времени от момента, когда хлебная масса поступает на платформу жатки до того момента, когда она будет измерена датчиком толщины слоя 4. Поэтому между объектом регулирования и датчиком устанавливается звено 3, которое называется



звеном чистого запаздывания. Роль этого звена выполняет жатка и частично плавающий транспортер наклонной камеры (рис. 1). На объект регулирования кроме управляющего сигнала Δi воздействуют также возмущения со стороны почвы на колеса ходовой системы $f_2(t)$ в виде сопротивления колёс перекатыванию и со стороны убираемой культуры на жатвенную часть комбайна $f_1(t)$ в виде переменной урожайности. Эти воздействия являются вероятностными процессами и вызывают случайные изменения регулируемой величины m в функции времени t . Задача системы автоматической стабилизации загрузки комбайна – нейтрализовать действие этих возмущений.

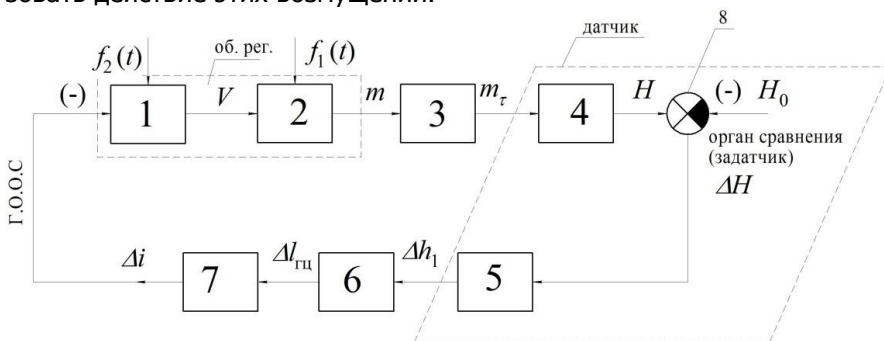


Рис.1 Функциональная схема системы регулирования подачи хлебной массы в зерноуборочный комбайн: 1-ходовая часть комбайна; 2-жатвенная часть комбайна; 3-плавающий транспортер (элемент чистого запаздывания); 4-датчик толщины слоя хлебной массы под плавающим транспортером; 5-гидрозолотник (усилительное звено); 6-гидроцилиндр вариатора хода (исполнительный механизм); 7-вариатор хода комбайна (регулирующий орган); 8-орган сравнения; Г.О.О.С. – главная отрицательная обратная связь, $f_1(t)$, $f_2(t)$ – возмущающие воздействия на ходовую и жатвенную часть комбайна как объекта регулирования подачи хлебной массы.

Итак, функциональная схема системы регулирования подачи хлебной массы в зерноуборочный комбайн (рис. 1), построенная на принципе измерения толщины слоя хлебной массы состоит из следующих элементов: объекта регулирования (звенья 1 и 2), звена чистого запаздывания (звено 3), датчика толщины слоя хлебной массы под плавающим транспортером (звенья 4 и 5)

сравнивающего органа (задатчика) (звено 8), усилительного звена состоящего из гидрозолотника 5 и гидросистемы управления скоростью перемещения комбайна по полю, исполнительного механизма (звено 6), регулирующего органа (звено 7), главной отрицательной обратной связи (Г.О.О.С), обеспечивающей нейтрализацию возмущений $f_1(t)$ и $f_2(t)$, на жатвенную (звено 2) и ходовую часть (звено 1) комбайна и поддерживающей заданное значение толщины слоя хлебной массы под цепями плавающего транспортера а следовательно и заданное значение подачи хлебной массы m в молотилку комбайна.

Анализ данной функциональной схемы показывает, что функции некоторых звеньев совмещены в одном конструктивном устройстве. Например, шток гидрозолотника б является и элементом датчика и усилительным звеном, а плавающий транспортер – и звеном чистого запаздывания и датчиком. Поэтому следует конкретизировать каждую функцию каждого из элементов функциональной схемы (рис. 1).

Для построения статической характеристики замкнутой системы необходимо выделить внешнюю и внутреннюю части системы регулирования. Внешнюю часть системы составляют все элементы, которые принадлежат объекту. Внутреннюю часть системы составляют привнесенные элементы, появившиеся в процессе проектирования и испытаний вновь созданной САР. Возмущение, действующее на объект в виде некоторой функции времени $M(t)$ разделяет систему на внешнюю и внутреннюю часть (рис. 2).

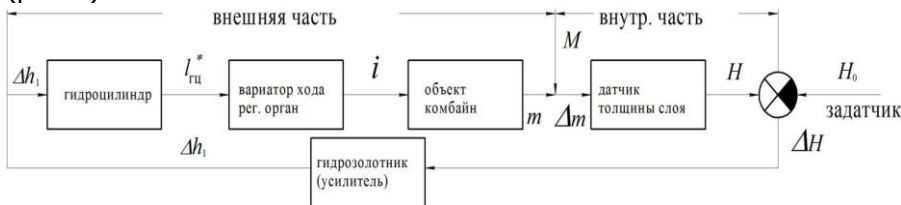


Рис. 2. Выделение внешней и внутренней части системы при проведении анализа статической точности процесса регулирования подачи хлебной массы в комбайн: $M(t)$ – возмущающее воздействие на объект регулирования.

Записываем линейные уравнения статики для внешней и внутренней частей САР.



Внешняя часть:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{уравнение объекта: } m = K_o i \quad (1) \\ \text{уравнение вариатора: } i = K_4 l_{\text{гц}} \quad (2) \\ \text{уравнение гидроцилиндра: } l_{\text{гц}} = K_3 \Delta h_1 \quad (3) \\ \text{уравнение рассогласования: } \Delta m = m - M \quad (4) \end{array} \right.$$

Внутренняя часть:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{уравнение датчика: } \Delta h_1 = K_2 \Delta m \quad (5) \\ \text{уравнение задатчика: } \Delta H = H - H_0 = \frac{C_{\text{нр}} + C_4}{C_{\text{нр}} \cdot C_4} \Delta h_1 \quad (6) \end{array} \right.$$

Статическая характеристика замкнутой системы регулирования определяет взаимосвязь между величиной ошибки Δm поддержания заданного значения регулируемой величины m_0 и величиной возмущения (нагрузки) M на объект регулирования со стороны жатвенной части зернокомбайна, при условии, что ошибка Δm измеряется после окончания процесса регулирования в установившемся статическом режиме. Установившийся режим означает, что процесс регулирования отсутствует, т.е. скорость перемещения штока гидроцилиндра вариатора хода комбайна равна нулю:

$$\frac{dl_{\text{гц}}}{dt} = 0 \quad (7)$$

Из уравнения (3) внешней части системы устанавливаем, что

$$K_3 \Delta h_1 = 0, \text{ откуда } \Delta h_1 = 0. \quad (8)$$

Как следует из уравнения датчика (5), и уравнения рассогласования (6), разность между нагрузкой M и регулируемой величиной $M - m = 0$. Откуда: $M = m$.

Таким образом, система автоматической стабилизации подачи хлебной массы в комбайн в установившемся режиме точно (с нулевой ошибкой) отрабатывает возникающие возмущения и относится к астатическим системам стабилизации. Ошибка Δm



регулирования не зависит от величины возмущения M .

Погрешность регулирования Δm будет зависеть от величины зоны нечувствительности $2b$ штока гидрозолотника (см. рис. 7). Однако в данном расчете мы этой зоной пренебрегаем.

Содержание работы

1. Построение функциональной схемы замкнутой САР.
2. Выделение внешней и внутренней части системы автоматического регулирования подачи хлебной массы.
3. Анализ статического состояния замкнутой системы автоматического регулирования подачи хлебной массы в зернокомбайн по возмущению со стороны жатки.
4. Установление астатического закона регулирования в системе регулятор – объект.

Порядок выполнения работы и составления отчета

1. На основании таблицы 1 студент определяет линейные статические характеристики по уравнениям (1) – (6), изложенным в общих сведениях к лабораторной работе (см. рис. 1).
2. Выделяет внешнюю и внутреннюю части замкнутой системы автоматического регулирования подачи хлебной массы в комбайн (см. рис 2).
3. Проводит анализ зависимости статической характеристики замкнутой системы регулирования подачи по выражениям (7) и (8).
4. Устанавливает закон регулирования и анализ погрешности системы стабилизации подачи хлебной массы в комбайн.

Оформление отчета

Отчет должен содержать:

1. Функциональную схему замкнутой системы регулирования подачи хлебной массы в комбайн (рис.1).
2. Расчетные значения параметров линейных статических характеристик в уравнениях (1) – (6).
3. Внешнюю и внутреннюю части преобразованной функциональной схемы системы регулирования (рис. 2).



Выводы

1. Система автоматической стабилизации подачи хлебной массы является астатической системой.
2. Точность регулирования в системе не зависит от величины возмущения со стороны жатки комбайна.
3. Погрешность регулирования в статическом режиме системы стабилизации подачи будет определяться зоной нечувствительности гидроусилителя и сухим трением в конструктивных элементах датчика подачи хлебной массы.

Контрольные вопросы

1. Понятие статической точности регулирования.
2. Суть статического закона регулирования.
3. Суть астатического закона регулирования.
4. Как построить функциональную схему регулирования подачи хлебной массы в комбайн.
5. Методика статического анализа систем регулирования. Определение коэффициентов усиления и коэффициентов передачи для линейных и линеаризованных систем.
6. Понятие звена транспортного запаздывания. Влияние на точность и качество регулирования.
7. Понятие нечувствительности регуляторов и объекта регулирования. Влияние на точность работы систем.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

«Синтез структурной схемы линейной системы регулирования подачи хлебной массы в зерноуборочный комбайн»

Цель работы: определить передаточные функции элементов и в целом системы автоматического регулирования подачи хлебной массы в зернокомбайн и построить переходный процесс регулирования.

Общие сведения

1. Динамика элементов системы автоматической стабилизации подачи хлебной массы в зерноуборочный комбайн.

Уравнение движения датчика подачи хлебной массы.

На вход датчика толщина H слоя хлебной массы поступает сигнал в виде усилия P (рис. 2 лабораторная работа № 2), а на выходе имеем сигнал Δh_1 перемещения штока гидрозолотника вариатора хода комбайна.

Уравнение движения системы датчика толщины слоя хлебной массы составляем на основании принципа Даламбера, применительно ко всем движущимся элементам, указанным на рис. 2 (см. лабораторную работу № 2)

$$\frac{G}{g} \Delta \ddot{h}_1 + \lambda \Delta \dot{h}_1 + \frac{C_4 + C_{\text{пр}}}{C_4 \cdot C_{\text{пр}}} \Delta h_1 - P = 0, \quad (1)$$

где $\frac{G}{g}$ – масса всех движущихся частей механической системы датчика толщины слоя хлебной массы, приведенная к штоку гидрозолотника, λ – коэффициент вязкого трения плунжера золотника, $\Delta \ddot{h}_1 = \frac{d^2 \Delta h_1}{dt^2}$; $\Delta \dot{h}_1 = \frac{d \Delta h_1}{dt}$.

Заменяя усилие P со стороны подпрессованной хлебной массы, действующей на ползки двуплечего рычага 5 (рис. 2 лабораторная работа № 2), эквивалентным усилием, приведенным к штоку гидрозолотника с учетом линейной характеристики датчика подачи (рис. 5 лабораторная работа № 2), получим сле-



дующее уравнение движения датчика:

$$(T_0 P^2 + T_1 P + 1) \Delta h_1 = K_2 \Delta m, \quad (2)$$

$$\text{где } T_0 = \frac{G}{g} \cdot \frac{C_{\text{пр}} \cdot C_4}{C_4 + C_{\text{пр}}}, \quad T_1 = \frac{\lambda C_{\text{пр}} C_4}{C_{\text{пр}} + C_4},$$

K_2 - коэффициент передачи датчика подачи хлебной массы (см. выражение (5) лабораторная работа № 2),

$$P = \frac{d}{dt} \text{ -оператор Лапласа.}$$

Расчеты показывают, что постоянной времени T_0 можно пренебречь. Поэтому окончательное выражение для передаточной функции датчика подачи хлебной массы принимает следующий вид:

$$(T_1 P + 1) \Delta h_1 = K_2 \Delta m \quad (3)$$

Из выражения (3) определяем передаточную функцию датчика подачи хлебной массы:

$$W_1(P) = \frac{\Delta h_1(P)}{\Delta m(P)} = \frac{K_2}{T_1 P + 1} \quad (4)$$

Таким образом, динамика датчика подачи хлебной массы описывается апериодическим звеном первого порядка.

1.2. Уравнение движение штока гидроцилиндра вариатора хода комбайна.

Используем для получения уравнения динамики штока гидроцилиндра выражение (9) лабораторная работа № 2. Тогда в форме преобразования Лапласа это выражение запишется следующим образом:

$$P \Delta l_{\text{гц}} = K_3 \Delta h_1$$

Откуда передаточная функция гидроцилиндра определяется следующим выражением:

$$W_2(P) = \frac{\Delta l_{\text{гц}}(P)}{\Delta h_1(P)} = \frac{1}{T_2 P}, \quad (5)$$

где принято: $T_2 = 1/K_3$ – постоянная времени гидроцилиндра вариатора хода комбайна, как интегрирующего звена.

Уравнение динамики вариатора хода, как регулирующего органа.

Исследования, проведенные Шеповаловым В.Д. [2], позволяют считать, что постоянной времени вариатора хода комбайна можно без большой погрешности для практики пренебречь. Поэтому рассматриваем вариатор хода комбайна как чисто усилительное звено с передаточной функцией:

$$W_3(P) = \frac{\Delta i(P)}{\Delta l_{\text{гц}}(P)} = K_4 \quad (6)$$

Уравнение динамики зерноуборочного комбайна как объекта регулирования.

Зерноуборочный комбайн имеет сложную цепь преобразований входных сигналов в выходящие сигналы, подробно представленную на рис. 10 (см. лабораторную работу № 2). Звено 2, производит преобразование крутящего момента на первичном валу коробки перемены передач в скорость перемещения комбайна по полю. Уравнение динамики этого звена запишется на основе принципа Даламбера в следующем виде:

$$m \frac{d^2 S}{dt^2} + K_v \frac{dS}{dt} + K_S = K_m M \quad (7)$$

где m – масса комбайна, приведенная к первичному валу коробки перемены передач комбайна; K_v, K_S – коэффициенты сопротивления, пропорциональные скорости и перемещению комбайна; S – перемещение комбайна по полю.

Принимая массу комбайна постоянной и учитывая коэффициенты передачи звеньев 1-3 (см. рис.10 лабораторная работа № 2), окончательно получаем следующее уравнение комбайна как объекта регулирования подачи хлебной массы:

$$T_4 \frac{d^2 \Delta m}{dt^2} + T_3 \frac{d \Delta m}{dt} + \Delta m = K_0 \Delta l_{\text{гц}}$$

Откуда следует передаточная функция объекта регулирования:

$$W_0(P) = \frac{\Delta m(P)}{\Delta l_{\text{гц}}(P)} = \frac{K_0}{T_4 P^2 + T_3 P + 1} \quad (8)$$



Где T_3, T_4 – постоянные времени объекта регулирования как аperiodического звена второго порядка,

P – оператор Лапласа.

Уравнение динамики звена чистого запаздывания.

На вход звена чистого запаздывания поступает сигнал $m(t)$. На выходе этот сигнал будет таким же, но будет сдвинут по времени на время задержки τ . В теории преобразования Лапласа показано, сигнал $m(t - \tau)$, сдвинутый по времени относительно исходного сигнала на τ единиц, определяется следующим выражением:

$$\Delta m_\tau(P) = \Delta m(P) e^{-P\tau} \quad (9)$$

Отсюда передаточная функция звена чистого (транспортного) запаздывания будет иметь вид:

$$W_\tau(P) = \frac{\Delta m_\tau(P)}{\Delta m(P)} = e^{-P\tau} \quad (10)$$

где P – оператор Лапласа.

Структурная схема системы автоматической стабилизации подачи хлебной массы в зерноуборочный комбайн. Анализ переходных процессов в системе.

Запишем теперь систему уравнений динамики, которая будет определять изменение во времени входных и выходных величин каждого из звеньев системы автоматической стабилизации подачи хлебной массы в зерноуборочный комбайн:

$$\left. \begin{aligned} \text{Уравнение рассогласования: } \Delta m(P) &= M(P) - m(P) \\ \text{Уравнение звена чистого запаздывания: } \Delta m_\tau(P) &= \Delta m(P) e^{-P\tau} \\ \text{Уравнение датчика: } (T_1 P + 1) \Delta h_1(P) &= K_2 \Delta m_\tau(P) \\ \text{Уравнение гидроцилиндра: } T_2 P \Delta l_{\text{гн}}(P) &= \Delta h_1(P) \\ \text{Уравнение вариатора хода: } \Delta i(P) &= K_4 \Delta l_{\text{гн}} \\ \text{Уравнение объекта регулирования: } (T_4 P^2 + T_3 P + 1) \Delta m(P) &= K_0 \Delta i(P) \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

На основании системы уравнений динамики (11) строим структурную схему САУ подачи хлебной массы.

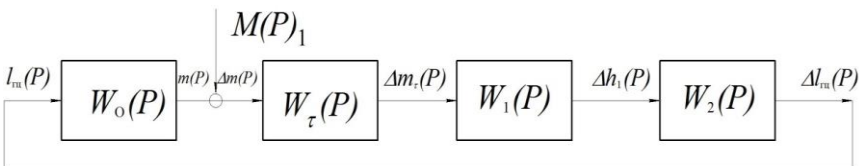


Рис.1. Структурная схема системы автоматического регулирования подачи хлебной массы в молотилку зерноуборочного комбайна: $W_0(P)$ – передаточная функция объекта регулирования, $W_0(P) = \frac{\Delta m(P)}{\Delta I_{\text{ин}}(P)} = \frac{K_0 K_s}{T_4 P^2 + T_3 P + 1}$; $W_\tau(P)$ – передаточная

функция звена чистого (транспортного) запаздывания, $W_\tau(P) = \frac{\Delta m_\tau(P)}{\Delta m(P)} = e^{-P\tau}$; $W_1(P)$ – передаточная функция датчика подачи хлебной массы, $W_1(P) = \frac{\Delta h_1(P)}{\Delta m_\tau(P)} = \frac{K_2}{T_1 P + 1}$;

$W_2(P)$ – передаточная функция исполнительного механизма (гидроцилиндра вариатора хода) зернокомбайна, $W_2(P) = \frac{\Delta I_{\text{ин}}(P)}{\Delta h_1(P)} = \frac{1}{T_2 P}$; $M(P)$ – возмущающее воздействие со

стороны поля на жатку; $m(P)$ – подача хлебной массы, $\Delta m_\tau(P)$ – отклонение подачи хлебной массы с учетом времени транспортного запаздывания τ , $\Delta h_1(P)$ – отклонение штока гидрозолотника, $\Delta I_{\text{ин}}(P)$ – перемещение штока гидроцилиндра вариатора

хода комбайна.

хода комбайна.

хода комбайна.

хода комбайна.

хода комбайна.

хода комбайна.

На структурной схеме (рис. 1) два звена: объект регулирования и регулирующий орган объединены в одно звено, на том основании, что вариатор хода есть часть объекта регулирования.

Далее определяем передаточную функцию разомкнутой системы:

$$W_{\text{раз}}(P) = \frac{M(P)}{\Delta m(P)} = W_1(P)W_2(P)W_\tau(P)W_0(P), \quad (12)$$

$$W_{\text{раз}}(P) = \frac{K}{(T_4 P^2 + TP + 1)(T_1 P + 1)T_2 P}, \quad (13)$$

где принято $K = K_0 K_4 K_2$.

Передаточная функция замкнутой системы равна:

$$W_{\text{зам}}(P) = \frac{\Delta m(P)}{M(P)} = \frac{W_{\text{раз}}(P)}{1 + W_{\text{раз}}(P)} \quad \text{или} \quad (14)$$

$$W_{\text{зам}}(P) = \frac{Ke^{-P\tau}}{Ke^{-P\tau} + (T_4 P^2 + T_3 P + 1)T_2 P} \quad (15)$$

Выражение (15) определяет динамику системы автоматического регулирования подачи хлебной массы при возмущении со стороны урожайности на поле $M(P)$.

В окончательном виде уравнение динамики системы автоматического регулирования в форме преобразования Лапласа запишется в следующем виде:

$$\Delta m \left[(T_4 P^2 + T_3 P + 1)(T_1 P + 1)T_2 P + Ke^{-P\tau} \right] = F(P), \quad (16)$$

где $F(P) = M(P)Ke^{-P\tau}$.

Упростим уравнение (16). Для чего разложим функцию $e^{-P\tau}$ в ряд Маклорена:

$$e^{-P\tau} = 1 - \frac{\tau}{1} P + \left(\frac{\tau^2}{2} \right) P^2 - \dots \quad (17)$$

Ограничимся первыми двумя членами разложения (17) и пренебрежем членом P^4 из-за малости величины коэффициента, равного произведению постоянных времени $T_1 T_2 T_4$. В результате получаем следующее алгебраическое уравнение третьей степени:

$$(T_1 T_2 T_4 + T_4 T_2) P^3 + (T_1 T_2 + T_2 T_3) P^2 + (T_2 - K_\tau) P + K = 0 \quad (18)$$

Решение этого уравнения позволяет получить три корня P_1, P_2, P_3 этого уравнения.

При этом могут быть два случая.

Первый случай.

Все корни характеристического уравнения (18) – вещественные и отрицательные числа, т.е. $P_k = C_k$. Тогда прибли-



женное решение дифференциального уравнения (16) записывается следующим образом:

$$\Delta m(t) = \sum_{k=1}^{n=3} C_k e^{P_k t} \quad (19)$$

где e – основание натурального логарифма,

C_k – постоянные интегрирования, определяемые из начальных условий, по выражениям:

$$\Delta m_0 = \sum_k^n C_k \Big|_{t=0} \quad (\text{см. П1, таблица 1})$$

$$\frac{d\Delta m_0}{dt} = \sum_{k=1}^n P_k C_k e^{P_k t} \Big|_{t=0} \quad (\text{см. П1, таблица 1}) \quad (20)$$

$$\frac{d^2 \Delta m_0}{dt^2} = \sum_{k=1}^n P_k^2 C_k e^{P_k t} \Big|_{t=0} \quad (\text{см. П1, таблица 1})$$

Второй случай.

Один корень имеет вещественное и отрицательное значение. А два других корня – комплексные числа с отрицательной вещественной частью, т.е. $P_1 = a_1$;

$P_2 = a_2 + jb_2$; $P_3 = a_2 - jb_2$. Тогда приближенное решение дифференциального уравнения (31) записывается следующим образом:

$$\Delta m(t) = C_1 e^{P_1 t} + C_2 \sin(C_2 t + C_3) e^{P_2 t} \quad (21)$$

Постоянные интегрирования C_k определяются также как и в первом случае из заданных начальных условий по следующим выражениям:

$$\Delta m_0 = C_1 + C_2 \sin C_3$$

$$\frac{d\Delta m_0}{dt} = a_1 C_1 e^{a_1 t} + a_2 C_2 e^{a_2 t} \cdot \sin(b_2 t + C_3) \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \frac{d^2 \Delta m_0}{dt^2} = & a_1^2 C_1 e^{a_1 t} + a_2^2 C_3 e^{a_2 t} \cdot \sin(b_2 t + C_3) - a_2 b_2 C_2 e^{a_2 t} \cdot \cos(b_2 t + C_3) - \\ & - a_2 b_2 C_2 e^{a_2 t} \cdot \cos(b_2 t + C_3) - b_2^2 C_2 e^{a_2 t} \cdot \sin(b_2 t + C_3) \end{aligned}$$

Студент должен построить графики переходных процессов, используя данные из таблицы 1 и оценить устойчивость и каче-



ство переходных процессов по величине перерегулирования δ и числу колебаний m_1 . (см. рис.2)

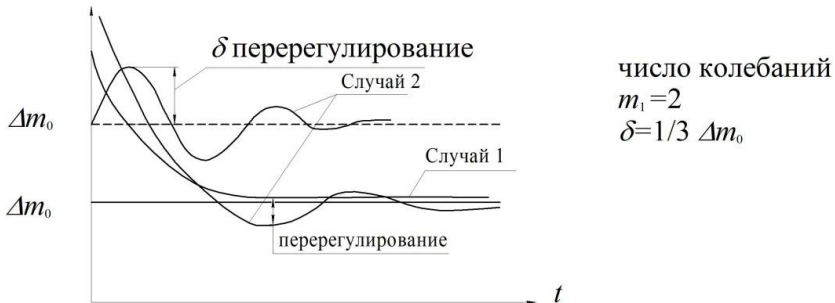


Рис.2. Примеры возможных переходных процессов протекающих в системе автоматического регулирования подачи хлебной массы в зерноуборочный комбайн.

Содержание работы

1. Расчет и анализ передаточных функций всех звеньев системы автоматического регулирования подачи хлебной массы в зернокомбайн.
2. Построение и расчет параметров структурной схемы замкнутой системы автоматического регулирования подачи.
3. Определение параметров передаточной функции замкнутой системы регулирования.
4. Построение переходного процесса регулирования в системе стабилизации подачи хлебной массы.

Порядок выполнения работы и составление отчета

1. Студент выполняет расчеты передаточных функций и передаточного процесса по исходным данным, предоставленным в таблице 1, Приложении 1.

2. Все упрощения передаточных функций отдельных звеньев и замкнутой системы производятся студентом в соответствии с методикой, изложенной в разделе «Общие сведения».

3. Для решения дифференциальных уравнений, описывающих процесс регулирования возможно использование программ MATLAB .

4. Анализ полученных переходных процессов регулирования подачи хлебной масс в зернокомбайн и точности отработки заданных значений регулируемой величины определяются по ниже изложенной методике.

Перерегулированием называется всякое отклонение регулируемой величины $m(t)$ (рис.2) за пределы области, ограниченной прямой установившегося процесса и осью времени t .

Величина перерегулирования определяется выражением

$$\Delta m = M(t)_{\max} - m_0, \text{ либо} \quad (23)$$

$$\Delta m = m(t)_{\max} - m_0 \quad (24)$$

Оптимальное максимальное отклонение регулируемого параметра определяется выражением:

$$\lambda = \frac{A_1}{Q} \quad (25)$$

где A_1 – максимальная амплитуда первого колебания регулируемого параметра,

Q – относительная величина возмущающегося воздействия.

Для астатических систем величина перерегулирования $\zeta_{акт}$ определяется по формуле

$$\zeta_{акт} = \frac{A_2}{A_1} \times 100\% \quad (26)$$

В выражениях (26) и (27) A_1 и A_2 - амплитуды первого и второго колебания регулируемого параметра, Δ_{cm} - статистическая ошибка.

Под колебательностью переходного процесса понимают степень затухания. Его харак-



ний за время переходного процесса, либо логарифмическом декрементом затухания.

$$\delta = \ln \frac{A_n}{A_{n+1}}, \quad (28)$$

где A_n и A_{n+1} - значения смежных амплитуд колебаний, либо по выражению

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{A_3}{A_1}\right) \times 100\% , \quad (29)$$

Которое показывает на сколько уменьшается амплитуда колебаний за 1 период.

Величина статической ошибки определяется выражением

$$\Delta m_{cm} = \frac{\Delta m}{1 + k_1 k_2}, \quad (30)$$

где Δm - отклонение регулируемой величины в статистике у объекта без регулятора,

$k_1 k_2$ - коэффициенты усиления (передачи) соответственно регулятора и объекта.

Отчет должен содержать анализ переходных процессов и точности работы системы с учетом формул (25) – (30).

Выводы

1. Система автоматического регулирования подачи хлебной массы обеспечивает точность регулирования порядка 8%.
2. Анализ переходного позволяет установить, что для задаваемых значений исходных параметров система не имеет перерегулирования (или имеет перерегулирование, например, $\delta = 0,3$).
3. Система автоматической стабилизации подачи хлебной массы является устойчивой.

Контрольные вопросы

1. Определение передаточной функции датчика толщины слоя хлебной массы.
2. Определение передаточной функции гидроусилителя



ля.

3. Определение передаточной функции гидроцилиндра.
4. Определение передаточной функции объекта регулирования (зернокомбайна).
5. Статическое и астатическое регулирование.
6. Показатели качества процесса регулирования.
7. Показатели статической точности системы стабилизации подачи.
8. Передаточная функция замкнутой системы автоматического регулирования подачи хлебной массы в зернокомбайн.
9. Понятие о звене транспортного запаздывания. Примеры в зернокомбайне.
10. Понятие об устойчивости процесса регулирования.



СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бородин И.Ф., Судник Ю.А. Автоматизация технологических процессов. Учебное пособие для вузов – М.; Колос, 2007 – 344с.
2. Шеповалов В.Д. Автоматизация уборочных процессов. – М.; Колос, 1978 – 383с.
3. Курсовое и дипломное проектирование по автоматизации производственных процессов. Учебное пособие для вузов. \ Под ред. И.К. Петрова \ - М.: Высшая школа, 1986- 352с.
4. Шишмарев В.Ю. Автоматизация производственных процессов в машиностроении. Учеб.для вузов. – М.: «Академия», 2007 – 358с.
5. Настенко Н.Н., Гурарий И.М. Системы автоматического регулирования зерноуборочных комбайнов. – М.: «Машиностроение». 1973 – 232с.
6. Карпенко А.Н., Паланский В.М. Сельскохозяйственные машины. – М.: Агропромиздат, 1989 – 527с.
7. Бородин И.Ф. Технические средства автоматики. – М.: Колос, 1982. – 303с
8. Ковчин С.А., Лурье А.Б., Прозоров В.А., Рудаков В.В. Автоматизация сельскохозяйственных машин и установок. – М.; Машиз, 1983 – 300с.
9. Кленин Н.И., Сакун В.А. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины: Элементы теории рабочих процессов, расчет регулировочных параметров и режимов работы. – 2-е изд. Перераб. И доп.- М.; колос 1980 – 671с.
10. Справочное пособие по теории систем автоматического регулирования и управления. Под. Общ. Ред. Е.А. Санковского – М.; «Высшая школа» 1973. – 584с.