

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет (НИУ)»  
Кафедра «Техника и технологии в металлургии»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Т.В. Баяндина  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

Модернизация электропривода участка дробления

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ – 13.03.02.2018. № 843. ПЗ.ВКР

Руководитель ст. препод.  
\_\_\_\_\_ Л.М. Наконечная  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

Автор работы  
студент группы ДО – 514  
\_\_\_\_\_ А.Н. Сабиров  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

Нормоконтролер  
к.и.н., доцент  
\_\_\_\_\_ Т.Н. Наволкина  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

Челябинск 2018

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИУ)»  
Кафедра «Техника и технологии в металлургии»  
Направление 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ Т.В. Баяндина  
\_\_\_\_\_ 2018 г.

ЗАДАНИЕ  
на выпускную квалификационную работу студента  
Сабирова Алика Надировича

Группа ДО-514

1 Тема работы:

Модернизация электропривода участка дробления

утверждена приказом по университету от 04.04.2018г. № 650

2 Срок сдачи студентом законченной работы 02.07.2018 г.

3 Исходные данные к работе

1	Задание для выполнения выпускной квалификационной работы
2	Нормативно-техническая литература
3	Материалы курсовых проектов
4	Отчеты по производственной и преддипломной практикам

4 Содержание расчетно-пояснительной записки

1	Титульный лист
2	Задание на выпускную квалификационную работу
3	Аннотация
4	Содержание
5	Введение
6	Сравнение отечественных и передовых зарубежных технологий и решений
7	Классификация дробильно-помольного оборудования
8	Расчет параметров двигателя дробилки
9	Автоматизация системы управления производством
10	Безопасность жизнедеятельности

11	Экономический раздел
12	Заключение
13	Библиографический список
14	Приложения

### 5 Перечень вопросов, подлежащих разработке

1	Анализ отечественных и передовых зарубежных технологий и решений
2	Сбор исходных данных для разработки выпускной квалификационной работы
3	Изучение технической литературы и нормативной документации
4	Анализ технологического процесса объекта
5	Разработка структуры системы управления объектом
6	Разработка мероприятий по технике безопасности
7	Расчет технико-экономических показателей

### 6 Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей, плакатов в виде презентаций в программе Power Point)

1	Название темы работы (проекта), ФИО студента и руководителя
2	Цель работы, назначение разработки, ее актуальность
3	Автоматизация системы участка дробления
4	Валковая дробилка. Общий вид
5	Функциональная схема валковой дробилки
6	Структурная схема валковой дробилки как объекта управления
7	Экономическая часть (сетевой график, стоимость затрат на разработку, экономический эффект)
8	Разработанные мероприятия по БЖД
9	Основные результаты работы. Возможные пути дальнейшего решения вопросов (развития работы)

## 7 Календарный план выполнения ВКР

№ п/п	Наименование этапов выполнения выпускной квалификационной работы	Срок выполнения этапов работы
1	Поиск и исследование литературы по теме выпускной квалификационной работы	28.04.2018 – 06.05.2018
2	Разработка и согласование с руководителем 1 и 2-го разделов ВКР	07.05.2018 – 15.05.2018
3	Подбор, изучение и проработка практических материалов, разработка и согласование с руководителем 3 и 4-го разделов ВКР	16.05.2017 – 15.06.2018
4	Согласование с руководителем введения, выводов и предложений	16.06.2018 – 20.06.2018
5	Сдача ВКР для нормоконтроля	21.06.2018 – 29.06.2018
6	Проверка ВКР на заимствование в системе «Антиплагиат»	29.06.2018 – 01.07.2018
7	Представление ВКР на кафедру	02.07.2018
8	Подготовка доклада и графического материала	03.07.2018 – 09.07.2018
9	Проведение предварительной защиты ВКР	10.07.2018
10.	Защита выпускной квалификационной работы	12.07.2018 – 14.07.2018

8 Дата выдачи задания 04.04.2018 г.

Руководитель ВКР \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Ф.)

Задание принял к  
исполнению \_\_\_\_\_  
(подпись студента) (И.О. Ф.)

## АННОТАЦИЯ

Сабиров А.Н Модернизация электроснабжения участка дробилки. – Челябинск: ЮУрГУ, ТТМ; 2018, 81с., 41 ил., 6 табл., 8 прил., 8л. графической части в виде презентаций в программе PowerPoint 10 прил., библиографический список – 13 наим.

В выпускной квалификационной работе установлена система автоматического управления участка дробления.

Выполнен анализ технологического процесса, выбраны датчики технологической информации и разработана схема их расположения. Произведено математическое описание и построены циклограммы системы управления в автоматическом наладочном и ручном режимах работы. Разработаны принципиальные и функциональные схемы, выполнено обоснование выбора данного контроллера. Произведен расчет экономического эффекта и срока окупаемости, рассмотрены вопросы охраны труда, гражданской обороны и экологии.

					<i>13.03.02.2018.843.00.00.ПЗ</i>		
<i>Изм</i>	<i>Дата</i>	<i>№ докум.</i>		<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>	<i>Сабиров А.Н.</i>				Модернизация электропривода участка дробления	<i>Литера</i>	<i>Листов</i>
<i>Проверил</i>	<i>Наконечная Л.М.</i>			<i>ВКР</i>		5	85
85						<i>ЮУрГУ</i>	
<i>Н.контр.</i>	<i>Наволкина Т.Н.</i>					<i>Кафедра ТТМ</i>	
<i>Утв.</i>	<i>Баяндина Т.В.</i>						

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ЗАДАНИЕ .....	2
ОГЛАВЛЕНИЕ .....	6
ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 КЛАССИФИКАЦИЯ ДРОБИЛЬНО-ПОМОЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ .....	10
2 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЯ ДРОБИЛКИ.....	14
2.1 Расчет механической характеристики двигателя .....	15
2.2 Расчет параметров двигателя питателя.....	16
2.3 Расчет механической характеристики двигателя .....	18
2.4 Моделирование системы векторного управления.....	19
2.5 Математическое моделирование .....	22
3 АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ..	26
3.1 Описание технологического процесса с точки зрения автоматизации .....	29
3.2 Обоснование структурной схемы системы автоматизации.....	31
3.3 Анализ системы автоматизации .....	37
3.4 Выбор регулятора и анализ САУ с регулятором.....	42
3.5 Выбор технических средств автоматизации для разрабатываемой САУ валковой дробилкой .....	52
4 БЕЗАПОСНОСТЬ ЖИЗНИДЕЯТЕЛЬНОСТИ .....	57
4.1 Анализ опасных и вредных факторов, возникающих при работе валковой дробилки .....	58
5 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ .....	66
5.1 Определение капитальных затрат .....	67
5.2 Определение экономического эффекта .....	69
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	71
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	72

ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	74
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	75
ПРИЛОЖЕНИЕ В .....	76
ПРИЛОЖЕНИЕ Г .....	77
ПРИЛОЖЕНИЕ Д .....	78
ПРИЛОЖЕНИЕ Е .....	81

## ВВЕДЕНИЕ

Задачи развития народного хозяйства РФ определяют значительное увеличение добычи и переработки минерального сырья. Достигается это путем строительства новых и реконструкции существующих предприятий горнорудной промышленности, промышленности строительных материалов некоторых других отраслей народного хозяйства, где минеральное сырье, являющееся исходным продуктом, подвергается дроблению.

Предусмотренное снижение себестоимости продукции при одновременном повышении его качества и увеличение рентабельности производства основываются на широком внедрении новой техники и повышении эффективности использования существующего оборудования. Особое внимание при этом должно быть уделено совершенствованию широко используемого дробильного оборудования, эксплуатационные расходы по которому составляют значительную часть общих расходов на переработку сырья. Дробление является основным процессом при производстве важных строительных материалов — таких как цемент, щебень.

В связи с различными характеристиками перерабатываемого материала, а также разными требованиями к конечному продукту машиностроительные заводы должны выпускать самые разнообразные по типу и размерам дробильные машины, причем наряду с созданием новых непрерывно изменять и совершенствовать существующие конструкции машин и увеличивать объем их выпуска.

При создании машин большое внимание уделяется вопросам улучшения условий труда обслуживающего персонала, а именно: механизации и автоматизации трудоемких процессов, обеспечению действующих жестких санитарных норм по допустимому уровню шума, вибрации и запыленности. Автоматизация производственных процессов — самый действенный и перспективный способ повышения качества готовой продукции и увеличения производительности оборудования, поэтому основные дробильные машины приспособлены к включению в автоматические линии.

Необходимая интенсификация процесса дробления может быть выполнена только на основе глубоких знаний как принципа действия и конструкции применяемых для этого машин, так и основных особенностей их эксплуатации.

Системное представление имеющегося парка дробилок различной конструкции как отечественного, так и зарубежного производства может явиться отправной точкой для поиска новых решений в области создания прогрессивных машин и рациональных технологических решений при их компоновке. Нужно отметить, что именно недостаточная информация о последних достижениях науки и техники в области конструкции и особенностей применения дробильных машин стала в последнее время некоторым тормозом в развитии работ по их совершенствованию и расширения сферы применения

В качестве задания на дипломный проект я взял тему Модернизация электропривода участка дробления цеха агломерации Где необходимо выполнить расчет и обоснование выбора технических средств автоматизации для проектируемой системы, произвести анализ производительности дробильного участка и получить примерные оптимальные значения параметров настройки регулятора производительности для обеспечения требуемого качества регулирования.

В целях достижения поставленных задач будем широко использовать программу Matlab и ее приложение Simulink, разработаны функциональную схемы автоматизации линии процесса дробления и структурные схемы САУ производительности дробильного участка. А также проведу анализ САУ, добьемся желаемого качества управления и запасы устойчивости системы.

В организационно-экономическом разделе произведен расчет экономического эффекта от САУ производительности валковой дробилки. В разделе безопасности жизнедеятельности определяю источники негативных факторов воздействующих на оператора валковой дробилки.

## 1 КЛАССИФИКАЦИЯ ДРОБИЛЬНО-ПОМОЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Дробильно-помольные машины чрезвычайно разнообразны и могут быть классифицированы по принципу действия и конструктивным особенностям:

– щековые дробилки с простым рисунком 1, а и сложным рисунком 1, б движением подвижной щеки. Первые измельчают материал раздавливанием, а вторые – раздавливанием и истиранием при периодическом приближении подвижной щеки к неподвижной;

– конусные дробилки с подвижным валом рисунок 1, в и с неподвижной осью рисунок 1, г. Эти дробилки измельчают материал раздавливанием и изгибом при постоянном приближении к неподвижному конусу поверхности подвижного конуса, который совершает поступательные движения в горизонтальной плоскости или круговые движения, эксцентричные относительно внутренней поверхности неподвижного конуса;

– валковые дробилки рисунок 1, д измельчают материал в основном раздавливанием, частично истиранием, ударом или изгибом между двумя вращающимися навстречу друг другу валками с гладкой, рифленой, ребристой или зубчатой поверхностями;

– бегуны рисунок 1, е измельчают материал раздавливанием и истиранием между цилиндрической поверхностью катков и плоской поверхностью чаши;

– дезинтеграторы рисунок 1, ж измельчают материал ударами быстро вращающихся жестко закрепленных молотков – бил;

– молотковые и роторные дробилки рисунок 1, з измельчают материал ударами и частично истиранием быстро вращающихся шарнирно или жестко закрепленных молотков;

– кольцевые мельницы рисунок 1, и измельчают материал раздавливанием и истиранием между криволинейными поверхностями – кольцевой дорожкой и роликами или шарами;

– барабанные вращающиеся рисунок 1, к и вибрационные рисунок 1, л мельницы измельчают материал ударами и истиранием свободно падающих

мельющих тел, последние поднимаются во вращающемся барабане под действием центробежной силы, а в вибрационных мельницах – в результате вибрации барабана.

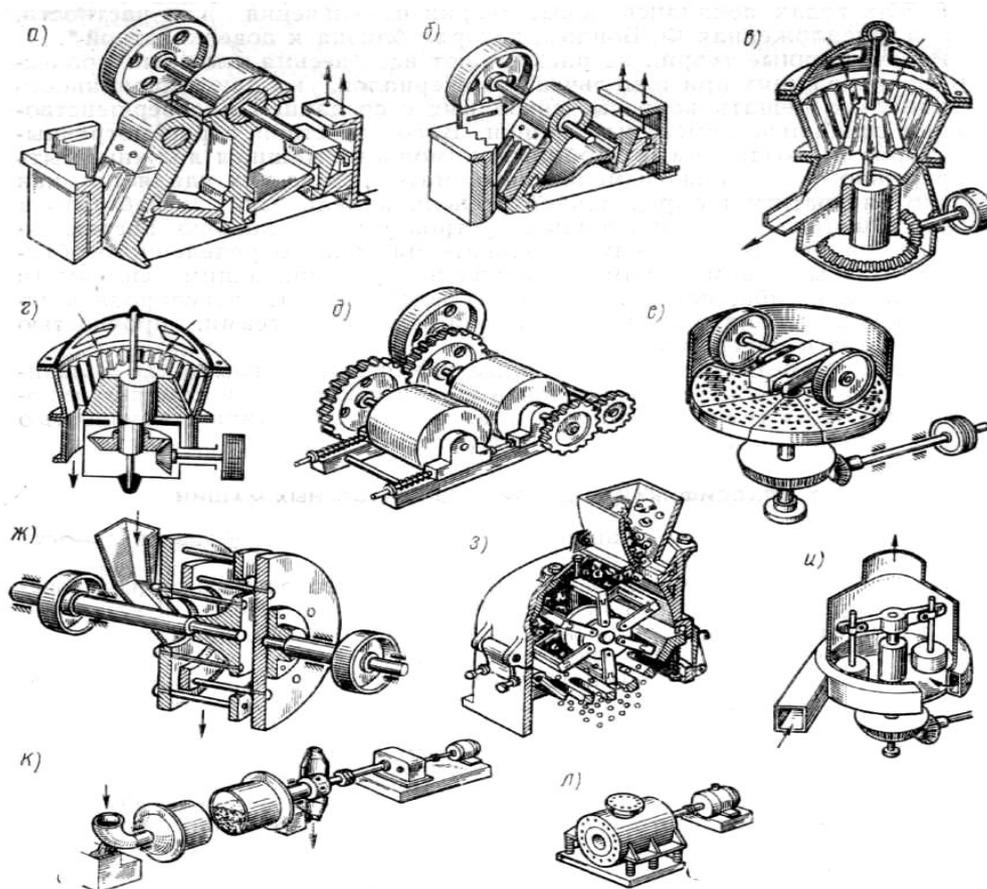


Рисунок 1 – Схема дробильно-помольных машин

Материал измельчается мокрым (в виде пульпы) и сухим способами в замкнутом и открытом цикле.

При замкнутом цикле измельченный материал направляется в сортировочные устройства, откуда куски или частицы недостаточной тонкости возвращаются для повторного измельчения, а материал с необходимой величиной частиц используется по назначению.

При открытом цикле измельченный материал направляется в машины или аппараты для дальнейшей переработки или используется как готовый продукт.

Первоначально при выборе типа дробилки можно ориентироваться на производительность и крупность готового продукта дробления таблица 1.

Таблица 1 – Производительность дробилок разных типов

Тип дробилки	Крупность питания, мм	Крупность готового продукта, мм	Производительность, т/час
Щековая среднего дробления	до 400	60–125	20–65
Щековая крупного дробления	650–1100	100–300	300–500
Конусная мелкого дробления	30–350	10–55	13–250
Конусная среднего дробления	300–800	100–170	100–500
Конусная крупного дробления	до 1300	350	2000–3000
Валковая (гладкие валки)	40–75	2–14	10–85
Валковая (зубчатые валки)	до 1200	2–14	до 700
Молотковая	100–300	13–45	6–200
Роторная	до 600	23–183	150–500

Режим работы дробилки, а, следовательно, и ее электродвигателя крайне тяжелый: в течение одной половины оборота эксцентрикового вала происходит дробление материала, а в течение другого – холостой ход щеки.

Для выравнивания нагрузки эксцентриковый вал дробилки снабжается одним или двумя маховиками. Запасая кинетическую энергию во время отхода и отдавая ее во время сближения щек, маховики уменьшают неравномерность хода дробилки и максимальную мощность, необходимую для дробления, что позволяет применить для привода дробилки двигатель меньшей мощности. Сопряжение

щек-дробилок с двигателем в большинстве случаев выполняется при помощи клиновых ремней. Учитывая высокий момент трогания и большую длительность пуска крупных щековых дробилок, для их привода применяются асинхронные двигатели с фазным ротором, которые могут обеспечить начальный момент 2-2,5 Мном.

Таблица 2– Параметры дробилки

Наименование	Параметры
Размер входного отверстия	1600-1250 мм
Зазор	160-300 мм
Производительность при дроблении материала	260-480 т/ч
Двигатели привода дробилки	
Количество	1 шт
Тип	4AA355S8Y3
Мощность	160 кВт
Скорость вращения	750 об/мин
Двигатель привода питателя	
Количество	1 шт
Тип	4AH180S8Y3
Мощность	15 кВт
Скорость вращения	1500 об/мин

## 2 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЯ ДРОБИЛКИ

Двигатель 4АН355S8УЗ (160 кВт, 380 В, 750 об/мин).

Паспортные данные этого двигателя

$P_n=160$  кВт;  $U_n=380$  В;  $\cos \varphi_n=0,86$ ;  $\eta_n=93,5\%$ ;  $S_n=0,11$

$f_n=50$  Гц;  $S_k=0,56$ ;  $J=10$  кг/м<sup>2</sup>

$$I_n = \frac{P_n}{\eta_n \sqrt{3} U_n \cos \varphi_n} = \frac{160000}{0,935 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,86 \cdot 380} = 308 \text{ А.} \quad (1)$$

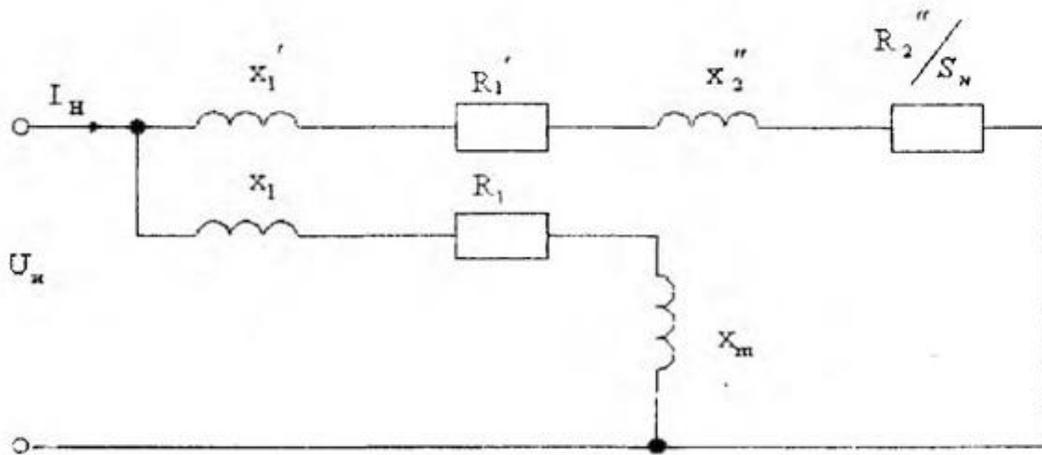


Рисунок 2 – Г-образная схема замещения АД для номинального режима

Параметры Г – образной схемы замещения АД для номинального режима в относительных единицах:

$$X_m=3,2; R_1=0,024; X_1=0,13 \quad R_1=0,017; X_2=0,17.$$

$$X_I = \frac{2X_1^1 X_m}{X_m + \sqrt{X_m^2 + 4X_1^1 X_m}} = \frac{2 \cdot 0,13 \cdot 3,2}{3,2 + \sqrt{3,2^2 + 4 \cdot 0,13 \cdot 3,2}} = 0,125. \quad (2)$$

$$R = \frac{R_1^1 X_1}{X} = \frac{0,024 \cdot 0,125}{0,13} = 0,0231. \quad (3)$$

Коэффициент перевода относительных единиц в физические:

$$C = \frac{U_n}{\sqrt{3} I_n} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 308} = 0,726. \quad (4)$$

Взаимная индуктивность статора и ротора, приведенная к статору:

$$L_s = \frac{(X_m + X_1) \cdot C}{314} = \frac{(3,2 + 0,125) \cdot 0,726}{314} = 0,0077 \text{ Гн.} \quad (5)$$

Поправочный коэффициент для параметров Г – образной схемы замещения:

$$\sigma_r = \frac{X_1^1}{X_1} = \frac{0,13}{0,125} = 1,04. \quad (6)$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к статору:

$$R_r = \frac{R_2 \cdot C}{\sigma_r^2} = \frac{0,012 \cdot 0,726}{(1,04)^2} = 0,0081 \text{ Ом.} \quad (7)$$

Индуктивность фазы обмотки ротора, приведенная к статору:

$$L_r = \frac{(X_m + \frac{X_2^{11}}{\sigma_r^2}) \cdot C}{314} = \frac{(3,2 + \frac{0,17}{(1,04)^2}) \cdot 0,726}{314} = 0,0078 \text{ Гн.} \quad (8)$$

Через первичные параметры определяется переходная индуктивность асинхронной машины.

Переходная индуктивность статора:

$$L_s = L_s - \frac{L_M^2}{L_s} = 0,0077 - \frac{0,0074^2}{0,0078} = 0,00068 \text{ Гн.} \quad (9)$$

Переходная индуктивность ротора:

$$L_r = L_r - \frac{L_M^2}{L_s} = 0,0078 - \frac{0,0074^2}{0,0077} = 0,00069 \text{ Гн.} \quad (10)$$

Постоянная времени обмотки ротора:

$$T_r = \frac{L_r^1}{R_r} = \frac{0,00069}{0,0081} = 0,085 \text{ сек.} \quad (11)$$

Постоянная времени обмотки статора:

$$T_s = \frac{L_s^1}{R_s} = \frac{0,00068}{0,0168} = 0,04 \text{ сек.} \quad (12)$$

Коэффициент магнитной связи статора:

$$K_s = \frac{L_M}{L_R} = \frac{0,0074}{0,0077} = 0,961. \quad (13)$$

Коэффициент магнитной связи ротора:

$$K_t = \frac{L_M}{L_R} = \frac{0,0074}{0,0078} = 0,95. \quad (14)$$

## 2.1 Расчет механической характеристики двигателя

Номинальное и критическое скольжение:

$$S_H=0,11. \quad (15)$$

$$S_K=0,56. \quad (16)$$

Синхронная частота вращения ротора:

$$\omega_c = \frac{2\pi \cdot f}{P} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{4} = 78,5 \text{ рад}. \quad (17)$$

Кратность пускового и критического моментов:

$$m_n = M_n/M_n = 1,2. \quad (18)$$

$$m_k = M_k/M_k = 2,2. \quad (19)$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_n = 9570 \frac{P_H}{n_c(1-S_H)} = 9570 \frac{160}{750(1-0,11)} = 2294 \text{ Нм}. \quad (20)$$

Пусковой момент двигателя по справочным данным:

$$M_n = 1,2 M_n = 1,2 \cdot 2294 = 3499,9 \text{ Нм}. \quad (21)$$

Критический момент:

$$M_k = 2,2 \cdot 2294 = 4583,3 \text{ Нм}. \quad (22)$$

## 2.2 Расчет параметров двигателя питателя

Двигатель 4АН180S8У3 (15 кВт, 380 В, 1500 об/мин).

Паспортные данные этого двигателя:

$P_H=15$  кВт;  $\cos \varphi_n=0,8$ ;  $\eta_n=86\%$ ;  $S_n=0,026$ ;

$f_n=50$  Гц;  $S_k=0,013$ ;  $J=0,24$  кг/м<sup>2</sup>

$$I_n = \frac{P_n}{\eta_n \sqrt{3} U_n \cos \varphi_n} = \frac{15000}{0,86 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 380} = 33,2 \text{ А}. \quad (23)$$

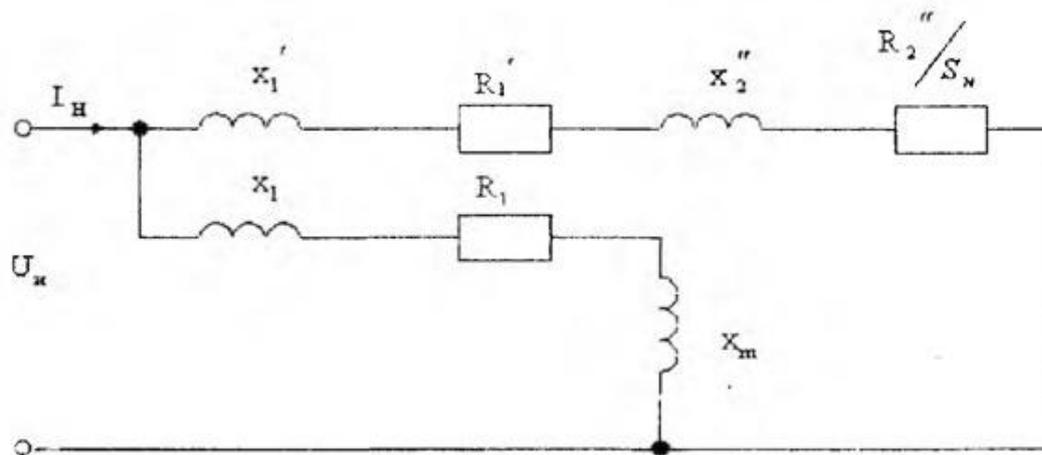


Рисунок 2 – Г-образная схема размещения АД для номинального режима  
 Параметры Г – образной схемы замещения АД для номинального режима в относительных единицах:

$$X_m=2,5; R_1=0,066; X_1=0,14; R_2=0,031; X_2=0,17.$$

$$X_1 = \frac{2X_1'X_m}{X_m + \sqrt{X_m^2 + 4X_1'X_m}} = \frac{2 \cdot 0,14 \cdot 2,5}{2,5 + \sqrt{2,5^2 + 4 \cdot 0,14 \cdot 2,5}} = 0,133. \quad (25)$$

$$R = \frac{R_1'X_1}{X} = \frac{0,066 \cdot 0,133}{0,14} = 0,0628. \quad (26)$$

Коэффициент перевода относительных единиц в физические:

$$C = \frac{U_n}{\sqrt{3}I_n} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 33,2} = 6,62. \quad (27)$$

Взаимная индуктивность статора и ротора, приведенная к статору:

$$L_m = \frac{X_m C}{314} = \frac{2,5 \cdot 6,62}{314} = 0,0527 \text{ Гн}. \quad (28)$$

Активное сопротивление фазы обмотки статора:

$$R_s = R_1 C = 0,0628 \cdot 6,62 = 0,4157 \text{ Ом}. \quad (29)$$

Индуктивность фазы обмотки статора:

$$L_s = \frac{(X_m + X_1) \cdot C}{314} = \frac{(2,5 + 0,133) \cdot 6,62}{314} = 0,0555 \text{ Гн}. \quad (30)$$

Поправочный коэффициент для параметров Г – образной схемы замещения:

$$\sigma_r = \frac{X_1'}{X_1} = \frac{0,14}{0,133} = 1,0526. \quad (31)$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к статору:

$$R_r = \frac{R_2 \cdot C}{\sigma_r^2} = \frac{0,031 \cdot 6,62}{(1,0526)^2} = 0,1852 \text{ Ом.} \quad (32)$$

Индуктивность фазы обмотки ротора, приведенная к статору

$$L_r = \frac{(X_M + \frac{X_2^{11}}{\sigma_r^2}) \cdot C}{314} = \frac{(2,5 + \frac{0,17}{(1,0526)^2}) \cdot 6,62}{314} = 0,0559 \text{ Гн.} \quad (33)$$

Через первичные параметры определяется переходная индуктивность асинхронной машины.

Переходная индуктивность статора:

$$L_s = L_s - \frac{L_M^2}{L_R} = 0,0555 - \frac{0,0527^2}{0,0559} = 0,00582 \text{ Гн.} \quad (34)$$

Переходная индуктивность ротора:

$$L_r = L_r - \frac{L_M^2}{L_S} = 0,0559 - \frac{0,0527^2}{0,0555} = 0,00586 \text{ Гн.} \quad (35)$$

Постоянная времени обмотки ротора:

$$T_r = \frac{L_r^1}{R_r} = \frac{0,00586}{0,1852} = 0,032 \text{ сек.} \quad (36)$$

Постоянная времени обмотки статора:

$$T_s = \frac{L_s^1}{R_s} = \frac{0,00582}{0,4157} = 0,014 \text{ сек.} \quad (37)$$

Коэффициент магнитной связи статора:

$$K_s = \frac{L_M}{L_S} = \frac{0,0527}{0,0555} = 0,95. \quad (38)$$

Коэффициент магнитной связи ротора:

$$K_r = \frac{L_M}{L_R} = \frac{0,0527}{0,0559} = 0,943. \quad (39)$$

### 2.3 Расчет механической характеристики двигателя

Номинальное и критическое скольжение:

$$S_H = 0,026. \quad (40)$$

$$S_H = 0,013. \quad (41)$$

Синхронная частота вращения ротора:

$$\omega_c = \frac{2\pi \cdot f}{P} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 50}{2} = 157 \text{ рад.} \quad (42)$$

Кратность пускового и критического моментов:

$$m_n = M_n / M_k = 1,2. \quad (43)$$

$$m_k = M_k / M_n = 2,2. \quad (44)$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_n = 9570 \frac{P_H}{n_c(1-S_H)} = 9570 \frac{15}{750(1-0,026)} = 195,3 \text{ Нм.} \quad (45)$$

Критический момент:

$$M_k = 2,2 \cdot 195,3 = 429,7 \text{ Нм.} \quad (46)$$

## 2.4 Моделирование системы векторного управления

Векторные системы оперируют с обобщающими векторами и их проекциями на ортогональные оси. Обобщающие вектора позволяют упростить систему уравнений асинхронного двигателя и производить вычисления с их проекциями как со скалярными величинами.

Большинство векторных систем управления включают в себя тригонометрические и фазовые преобразователи. Тригонометрические преобразователи осуществляют преобразование проекций обобщающих векторов из одной системы координат в другую систему координат. Как правило, одна система координат неподвижная и связана со статором, другая система координат вращается синхронно с выбранным опорным вектором.

Фазовые преобразователи преобразуют трехфазную систему токов и напряжений в двухфазную систему, а также осуществляют обратное преобразование. Для проекций обобщающего вектора тока статора, преобразование из неподвижной системы координат во вращающуюся систему координат осуществляется по формулам.

$$I_{s1} = I_{s\alpha} \cos \varphi + I_{s\beta} \sin \varphi. \quad (47)$$

$$I_{s2} = I_{s\beta} \cos \varphi + I_{s\alpha} \sin \varphi. \quad (48)$$

Преобразование проекций из вращающихся системы координат в неподвижную систему координат производится по формулам:

$$I_{s\alpha} = I_{s1} \cos \varphi + I_{s2} \sin \varphi. \quad (49)$$

$$I_{s\beta} = I_{s1} \sin \varphi + I_{s2} \cos \varphi. \quad (50)$$

Обычно вращающуюся систему координат ориентируют по вектору потокосцепления ротора. Функциональная схема электропривода в этом случае имеет наименьшее число перекрестных связей, а выражение момента и скорости сравнительно просты. При этом наиболее просто осуществляется регулирование скорости при стабилизации потокосцепления ротора. Уравнения короткозамкнутого асинхронного электродвигателя, во вращающейся со скоростью вектора потокосцепления ротора системе координат, имеют вид:

$$U_{s1} = \frac{dI_{s1}}{dt} L_s + K_r \frac{d\Psi_{nn}}{dt} - I_{s2} L_s \omega_{\Psi R} + R_s I_{s1}; \quad (51)$$

$$U_{s2} = \frac{dI_{s2}}{dt} L_s + I_{s1} L_s \omega_{\Psi R} + K_r \Psi_{nn} \omega_{\Psi R} + R_s I_{s2}; \quad (52)$$

$$\left. \begin{aligned} 0 &= \frac{d\Psi_{nn}}{dt} + \frac{R_r}{L_r} \Psi_{nn} - I_{s1} \frac{L_m R_r}{L_r}; \\ 0 &= (\omega_{\Psi R} - p\omega) \Psi_{nn} - \frac{R_r L_m}{L_r} I_{s2}; \end{aligned} \right\} \quad (53)$$

$$M = \frac{mp L_m}{2L_r} \Psi_{nn} I_{s2}, \quad (54)$$

где  $m$ -число фаз;  $p$ -число пар полюсов.

$$L_s = L_s - \frac{L_m^2}{L_r}, \quad K_r = \frac{L_m}{L_r}.$$

Векторная диаграмма представлена на рис. Проекция обобщающего вектора тора статора на координатную ось 1 определяет потокосцепление ротора. Проекция обобщающего тока статора на ось 2 определяет электромагнитный момент двигателя. Таким образом, в векторной системе управления возможно раздельное управление магнитным потоком и моментом.

Система управления должна стабилизировать магнитное состояние двигателя, следовательно, поток ротора  $\Psi_{nn}$  и ток  $I_{s1}$ . Уравнения роторной цепи можно представить:

$$0 = \frac{R_r}{L_r} \Psi_{nn} - I_{s1} \frac{L_m R_r}{L_r}; \quad (55)$$

$$0 = (\omega_{\Psi R} - p\omega)\Psi_{nn} - \frac{R_r L_m}{L_r} I_{s2}. \quad (56)$$

Из уравнения следует закон формирования тока  $I_{s1}$ :

$$I_{s1} = \frac{1}{L_m} \Psi_{nn}. \quad (57)$$

Закон формирования тока  $I_{s2}$ :

$$I_{s2} = \frac{M}{\Psi_{nn}} \frac{2}{mpK_1}. \quad (58)$$

Можно упростить так же выражения для вычисления напряжений статора:

$$U_{s1} = R_s I_{s1} - I_{s2} L'_s \omega_{\Psi}. \quad (59)$$

$$U_{s2} = R_s I_{s2} + \omega_{\Psi} \Psi_{nn} \left( \frac{L'_s}{L_m} + K \right). \quad (60)$$

Уравнения служат основой для построения векторной системы управления приводом с ориентированием по потоку ротора.

Координаты вектора потокосцепления ротора вычисляются по измеренной скорости вращения ротора и измеренным токам статора

Из уравнения следует:

$$\omega_{\Psi R} = p\omega + \frac{R_r L_m}{L_r \Psi_{nn}} I_{s2}. \quad (61)$$

Проинтегрировав выражение получим угловое вектора потокосцепления ротора.

$$\varphi = \int_0^x \omega_{\Psi R} dt. \quad (62)$$

На основании первого уравнения вычисляется модуль потокосцепления ротора.

$$\Psi_{nn} = W(s) I_{s1}, \quad (63)$$

где  $W(s) = \frac{L_m}{\frac{L_r}{R_r} s + 1}$ .

## 2.5 Математическое моделирование

Моделирование привода с векторной системой управления проводилось с асинхронным двигателем питателя 4АН180S8Y3, мощность 15 кВт, напряжением 380В и синхронной частотой вращения 1500 об/мин. Заданием для привода питателя будет являться текущее значение тока привода дробилки – 4АН355S8Y3, мощностью 160кВт, напряжением 380В и синхронной частотой вращения 750 об/мин.

Схема модели питателя представлена на рис. 8. Напряжения в данной схеме и вычисляются по формулам. Напряжения регулируются с помощью релейных регуляторов так, чтобы формировать заданные по формулам токи статора. Векторная система управления с релейными регуляторами напряжения обеспечивает быстродействующее управление вращающим моментом. Настройка релейных регуляторов заключается в установке желаемой частоты переключений ключей инвертора. На рис.9 представлены графики переходных процессов объединенной системы приводов дробилки и питателя. В системе осуществляется пуск двигателя с номинальным моментом до номинальной скорости, наброс и сброс нагрузки, показывается отработка приводом питателя изменения текущего тока дробилки (попадания в нее недробимого или труднодробимого тела). Моделирование производится в Matlab Simulink, для ускорения процесса счета, проводилось в режиме Accelerator.

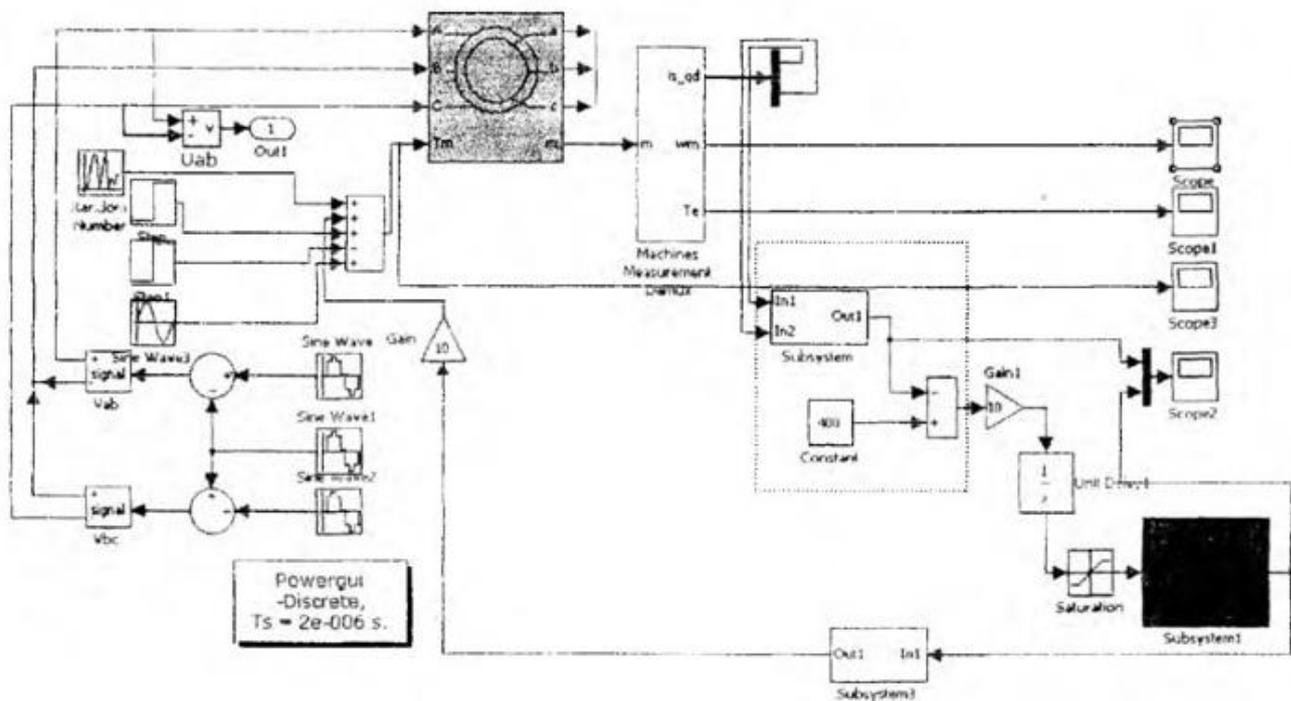


Рисунок 3 – Математическая модель дробильного комплекса

Математическая модель дробильного комплекса представляет собой модель асинхронного двигателя, на вход которого подается трехфазное синусоидальное напряжение. Поскольку нагрузка дробилки носит случайный характер, то момент сопротивления для ее имитации моделируется такими блоками как «случайное число», «синусоидальное воздействие», обрабатывается наброс и сброс нагрузки, а также используется выходной сигнал с модели питателя.

В блоке, выделенном пунктиром, происходит сравнение текущего тока дробилки с номинальным значением. Полученное значение через звено запаздывания поступает на вход модели привода питателя, после чего через простейший цифровой регулятор подается вновь на вход двигателя.

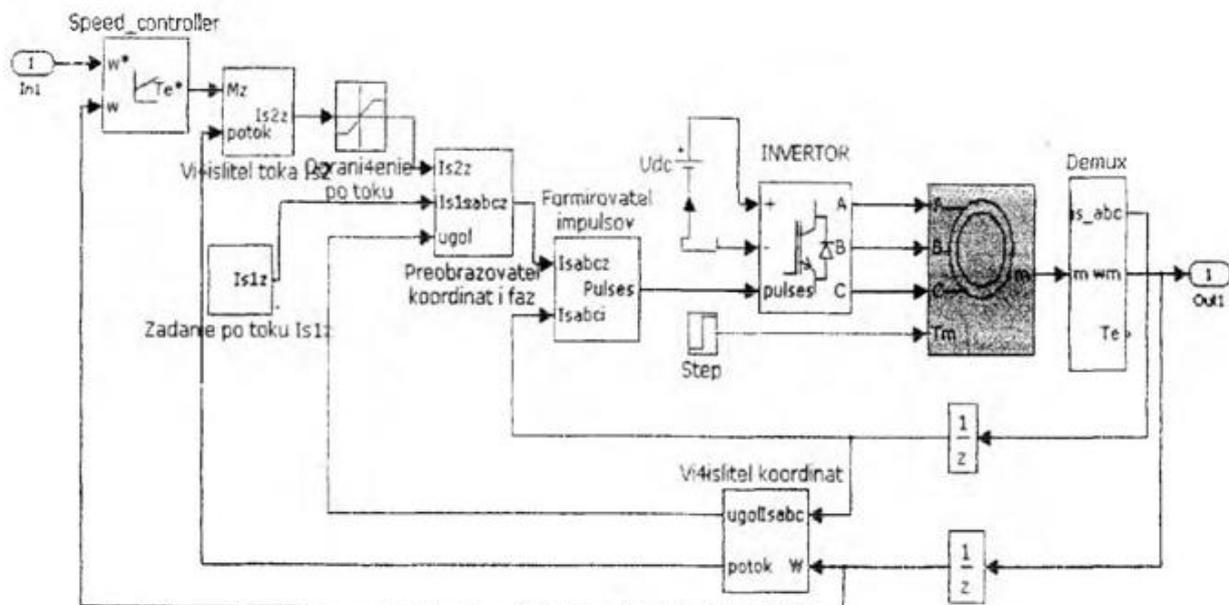


Рисунок 4 – Математическая модель привода питателя

Работа математической модели привода работы питателя подробно описано в разделе моделирование векторного управления

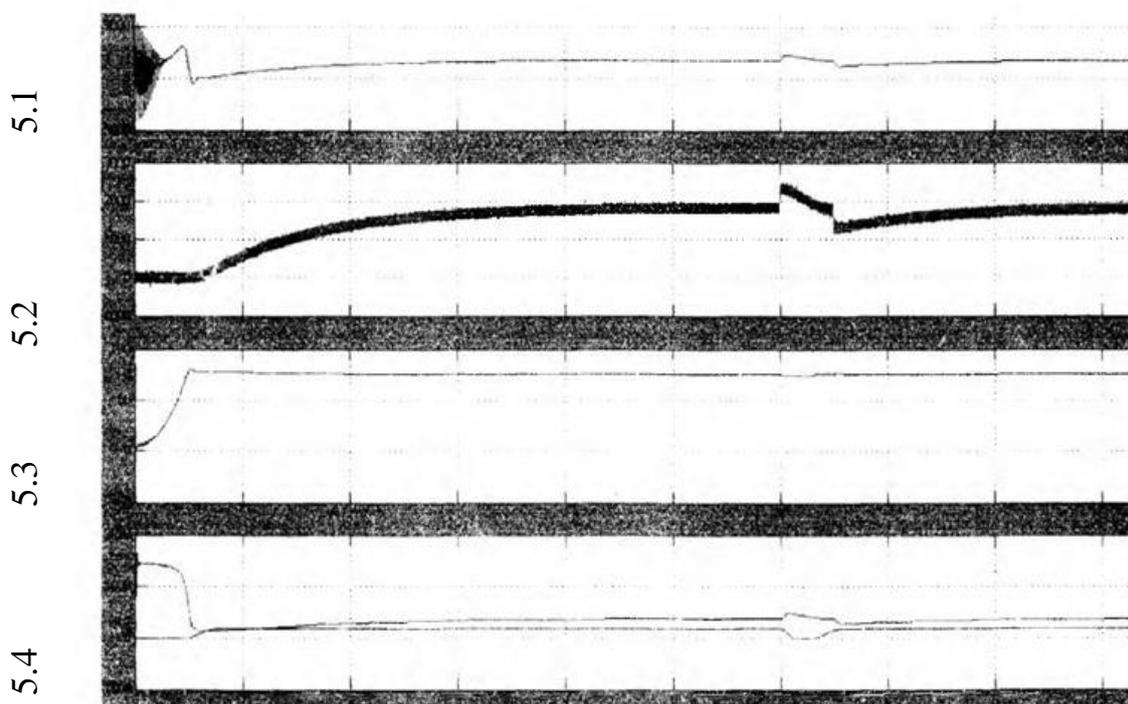


Рисунок 5 – Графики переходных процессов

График 5.1 – график момента. Момент обрабатывается за время 0,3 с., что связано с большой инерционность маховиков дробилки.

График 5.2 – график имитации случайной нагрузки на дробилке.

График 5.3 – график скорости. Скорость устанавливается за 0,5 с. Перерегулирование не превышает 4 %.

График 5.4 – на графике изображены среднее значение текущего тока дробилки и скорость питателя.

Как видно из графика 5.4., при увеличении нагрузки на дробилке (попадании в нее труднодробимого тела), скорость питателя уменьшается, что позволяет дробилке успешнее отработать материал. Таким образом, зная ток приводного двигателя, можно регулировать в зависимости от его значения скорость питателя, что обеспечивает улучшение технико-экономических показателей дробильного комплекса. Поэтому измерение величины тока электродвигателя дробилки и положено в основу схемы автоматического регулирования скорости питателя.

### 3 АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

Применимость автоматизированных систем контроля и управления в каждом конкретном случае зависит от того, насколько система удовлетворяет предъявленным к ней требованиям. Основным требованием является сохранение заданной функциональной зависимости между управляющими и регулируемыми переменными на входе и выходе системы. Идеальных систем, которые бы выполняли это требование абсолютно точно, не существует. Поэтому речь может идти о приближении работы системы к идеальной. Чем больше степень этого приближения, тем сложнее получается система. В связи с этим задача проектирования автоматизированных систем контроля и управления заключается в том, чтобы найти разумный компромисс между стремлением получить высокое качество работы и достигнуть это простыми техническими средствами. Требования, предъявляемые к поведению системы в динамике, зависят от её назначения, характера работы, конкретных условий работы и т.д. Различают следующие категории требований: к запасу устойчивости системы; к величине ошибки в установившемся состоянии или статической точности регулирования; к качеству переходного процесса;

Устойчивость – это важнейшее условие работоспособности системы автоматического регулирования (САР). Под устойчивостью понимают способность системы возвращаться в состояние равновесия, из которого она была выведена под влиянием различных воздействий. Для определения устойчивости конкретной САР необходимо вывести её из состояния равновесия и наблюдать за её поведением в переходном процессе. Устойчивость системы характеризуется запасами устойчивости по амплитуде и по фазе.

Запас устойчивости по фазе ( $\Delta\varphi$ ) – это величина, на которую должно возрасти запаздывание по фазе в системе, на частоте среза  $\omega_c$ , чтобы система оказалась на границе устойчивости.

Запас устойчивости по амплитуде ( $\Delta L$ ) – это величина допустимого подъема ЛАХ, при котором система окажется на границе устойчивости.

Устойчивость является необходимым, но недостаточным условием работоспособности системы автоматического регулирования.

Существенным требованием является качество переходных процессов, которое оценивается следующими показателями:

- 1) время переходного процесса  $t_{\text{пн}}$ , которое характеризует быстродействие системы и оценивается отрезком времени от начала переходного процесса до момента, когда отклонение выходной величины от установившегося значения станет меньше заданной, достаточно малой величины -  $\delta_{\text{рег}}$ . Обычно принимают  $\delta_{\text{рег}} = 5\%$ ;
- 2) перерегулирование переходного процесса  $\sigma$  – это отношение максимального отклонения выходной величины от её установившегося значения к установившемуся значению.

Колебательность переходного процесса  $\mu$  - это отношение двух соседних максимальных отклонений переходной характеристики от установившегося значения. – статическая точность регулирования, оцениваемая статической ошибкой  $A$ , равной отклонению регулируемой величины от заданного значения по окончании процесса регулирования. Статическая ошибка должна быть меньше или равна заданному значению.

Система автоматизации должна выполнять следующие функции: информационные функции:

автоматический контроль состояния технических средств автоматизированного технологического оборудования (АТО), включая механические, силовые и другие устройства, входящие в состав автоматизируемого оборудования; автоматический контроль (с помощью датчиков) состояния технологического процесса, реализуемого в АТО; автоматическая диагностика состояния технических средств АТО (включая технические средства, входящие в состав АТО); автоматическая диагностика состояния технологического процесса, реализуемого в АТО; диалог оператора с МПК (ввод и вывод информации); обмен информацией со смежными системами (АСУТП

более высокого уровня; управляющие функции: автоматическое заблокированное управление механизмами (пуск, остановка); автоматическое регулирование (стабилизация) рабочих режимов работы оборудования; автоматическое регулирование (стабилизация) технологического процесса, реализуемого в АТО, в заданных ситуациях; автоматизированное (ручное и диалоговое) управления в нестандартных ситуациях, диагностируемых системой или оператором (во внешней информации). Автоматизированные системы управления производством (АСУТП) создаются на крупных предприятиях с целью совершенствования управления и повышения эффективности производства. АСУТП является системой управления, основанной на применении средств вычислительной техники и экономико-математических методов для решения задач управления производственно-хозяйственной деятельностью предприятия.

АСУТП должны обеспечивать:

автоматизированный сбор и обработку информации с широким использованием методов оптимизации основных задач и подсистем управления общезаводского и внутрицехового уровня, при необходимости в реальном масштабе времени, в режиме теплообработки и диалога;

- хранение в памяти ЭВМ и комплексное использование нормативно-справочной, промежуточной и выходной информации в процессе решения задач управления;
- организацию рационального внутризаводского документооборота с помощью средств АСУТП.

Автоматизация технологического процесса сушки глины предусматривает увеличение экономической эффективности производства. Это достигается путём:

- Минимального расход топлива;
- Улучшения качества продукции.

Для получения таких положительных эффектов автоматическая система регулирования должна удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечить статическую ошибку – не более 0,05 %;
- максимальное перерегулирование  $\sigma$ , – не более 15 %;

- Время переходного процесса  $t_{\text{пн}}$  – не более 60 с;
- Время нарастания – не более 20 с;
- Запас устойчивости по амплитуде – не менее 10 дБ;
- Запас устойчивости по фазе – не менее 45 град.

### 3.1 Описание технологического процесса с точки зрения автоматизации

Короткозубчатую двухвалковую дробилку применяют для дробления известняка, мергеля, угля, соли и других подобных материалов с пределом прочности до 120 МПа и температурой до 40 °С.

В таблице 3 приведена техническая характеристика валковой дробилки

Таблица 3–Техническая характеристика валковой дробилки

Показатели	Значения
Производительность, т/ч, не более.	225
Размер валков, мм.	
диаметр	1500
длина	1200
Номинальная частота вращения валков, об/мин, не менее.	60
Размер загружаемого материала, мм, не более.	600×600×600
Предел прочности на сжатие загружаемого материала, Мпа, не более.	120
Мощность электродвигателей, кВт.	150
Габаритные размеры, мм.	
длина	5210
ширина	6200
высота	2100
Масса, кг.	37000

Рабочим органом валковой дробилки являются, вращающиеся на горизонтальной оси, цилиндрические валки. Валки вращаются на встречу друг другу с окружными скоростями  $\omega_1$  и  $\omega_2$  (рисунок 6), захватывают и дробят, подаваемый пластинчатым питателем ПП1, материал, раздавливая его и частично истирая.

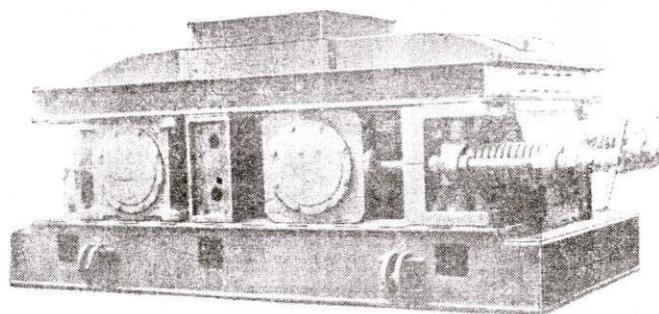


Рисунок 6 – Дробилка двухвалковая зубчатая

На рисунке 7 представлена функциональная схема короткозубчатой двухвалковой дробилки СМД-175А.

На сварную раму дробилки в подшипниках качения установлены два валка, подшипники одного из которых неподвижны, подшипники второго опираются на амортизационные устройства, и при попадании между валками недробимого предмета валок может отходить от неподвижного и возвращаться обратно.

Для регулирования уровня заполнения камеры дробления применена система с двумя радиоактивными датчиками, устанавливаемыми на различной высоте в камере дробления, что обеспечивает диапазон работы устройства с максимальной (при загрузке до верхнего уровня заполнения) и минимальной (до нижнего уровня) производительностями. Средняя производительность поддерживается прекращением загрузки дробилки при ее наполнении до верхнего уровня путем отключения приводного двигателя пластинчатого питателя ПП1 и включения его в работу после уменьшения запаса материала до нижнего уровня.

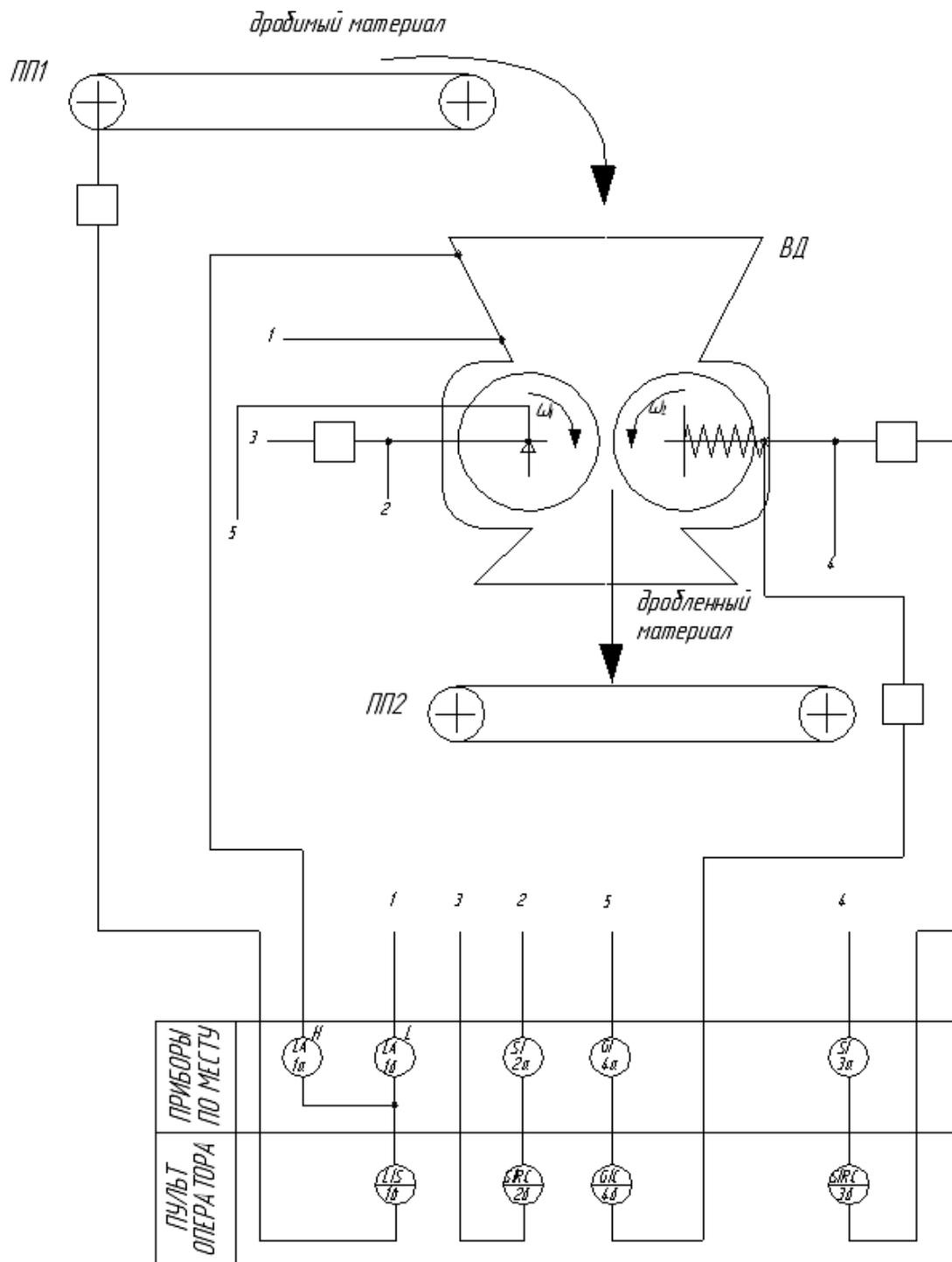


Рисунок 7 – Функциональная схема валковой дробилки

### 3.2 Обоснование структурной схемы системы автоматизации

Рабочий процесс валковых дробилок можно представить как сложную динамическую систему. Это объясняется сложностью и многообразием процессов, протекающих в них.

Дадим аналитическое описание процессов, происходящих в валковой

дробилке, применив к ней уравнение материального баланса

$$\frac{d_m}{d_f} = Q_1 - Q_2, \quad (64)$$

где  $m$  – запас материала в камере дробления;  $Q_1(t)$  и  $Q_2(t)$  – производительности пластинчатого питателя, подающего материал в камеру дробления и дробилки.

Структуру и математическое описание объекта определим с учетом включения его в систему управления. Валковая дробилка представляет собой одноемкостный объект с входными параметрами (рисунок 8):  $Q_1$  производительность питателя;  $M$  – момент на валу электродвигателя;  $\Delta\sigma$  – прочность дробимого материала;  $\Delta b$  – расстояние между валками;  $\Delta d_{нач}$  – крупность дробимого материала;  $\omega$  – скорость вращения валка;  $c$  – жесткость пружины;  $D$  – диаметр валка;  $L$  – длина валка.

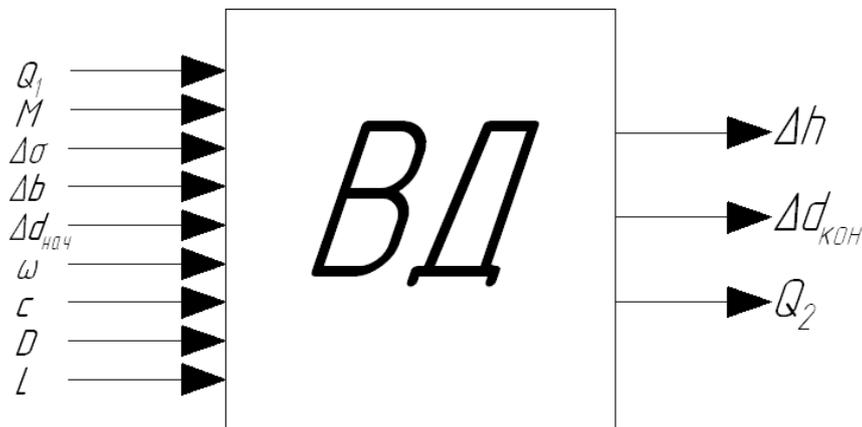


Рисунок 8 – Валковая дробилка как объект управления

Выходными параметрами являются:  $Q_2$  – производительность дробилки;  $\Delta d_{кон}$  – гранулометрический состав продуктов дробления;  $\Delta h$  – уровень материала в камере дробления.

Уравнение для камеры дробления при нарушении равновесия между средними значениями производительности  $Q_1$  питателя и отводимым из зоны потоком материала  $Q_2$

$$d \left( \frac{m + \Delta m}{dt} \right) = (Q_1 + \Delta Q_1) - Q_2 + \Delta Q_2, \quad (65)$$

где  $\Delta m$ ,  $\Delta Q_1$ ,  $\Delta Q_2$  – отклонения соответствующих расходов запаса материала в камере дробления.

Изменение расхода материала из камеры дробления, вызванное действием возмущений, не остается постоянным. Проявляется эффект самовыравнивания, когда, например, уменьшение расхода приводит к обратному следствию – увеличению уровня заполнения камеры дробления и соответствующему возрастанию расхода. Отклонение  $\Delta Q_2$  поэтому не остается постоянным и меняется от своего начального значения  $\Delta Q_2^0$  в зависимости от изменения уровня  $\Delta h$ , т. е.  $\Delta Q_2 = f(\Delta h)$ .

В установившемся состоянии

$$Q_1 = Q_2 \text{ и } \frac{d\Delta m}{dt} = \Delta Q_1 - Q_2. \quad (66)$$

Для построения структурной схемы дробилки воспользуемся статической характеристикой валковой дробилки (рисунок 9)

$$Q_2 = Q_2(m). \quad (67)$$

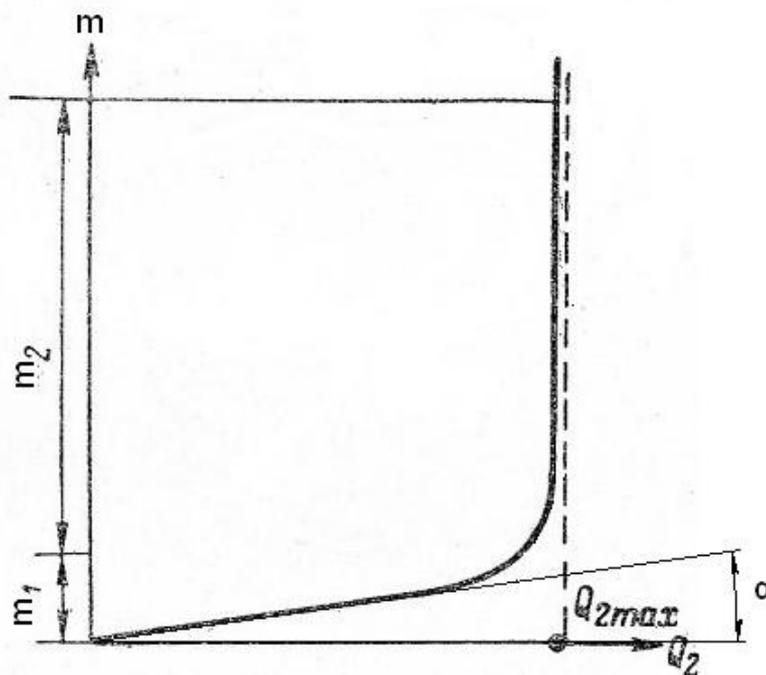


Рисунок 9 – Статистическая характеристика валковой дробилки

В широком диапазоне изменения производительности – от нуля и почти до максимума  $Q_{2max}$  – коэффициент самовыравнивания дробилки очень велик, при этом диапазон изменения запаса очень мал – от нуля до  $m_1$ . Далее, при изменении запаса от  $m_1$  до  $m_2$  коэффициент самовыравнивания почти всюду равен нулю. Поэтому при линеаризации уравнений движения можно для зоны от нуля до  $m_1$

считать валковую дробилку безинерционной, а для зоны от  $m_1$  до  $m_2$  рассматривать ее как интегрирующее звено.

Тогда для зоны от нуля до  $m_1$  валковую дробилку можно представить безынерционным звеном

$$\begin{aligned} m &= k_1 Q_1 \\ Q_2 &= Q_1 \end{aligned} \quad (68)$$

где  $k_1 = \operatorname{tg} \alpha$  - коэффициент пропорциональности (рисунок 9).

Таким образом, передаточная функция для зоны от нуля до  $m_1$  будет иметь вид:

$$W_1(p) = \frac{\Delta m}{\Delta Q_1} = K_1. \quad (69)$$

Для зоны от  $m_1$  до  $m_2$  отводимый поток не является переменной величиной и единственным уравнением дробилки будет уравнение интегрирующего звена

$$\frac{dm}{dt} = Q_1 - Q_{2max}. \quad (70)$$

При построении структурной схемы валковой дробилки (9) учитывалось, что применение преобразования Лапласа к уравнению (8) в отклонениях дает

$$\Delta m(p) = \frac{\Delta Q_1(p) - \Delta Q_2(p)}{p}. \quad (71)$$

Выразим  $m$  и  $Q$  через среднее расстояние между валками  $b$ . Количество материала, выпадающего из валковой дробилки за 1 оборот валков:

$$m = \gamma V = \gamma \pi D L b, \quad (72)$$

где  $\gamma$  - насыпная плотность материала;  $V$  - объем продуктов дробления, выпадающих из дробилки за 1 оборот валков.

Тогда запас материала в дробилке можно выразить через число оборотов валков  $N$ , необходимых для разгрузки дробилки при средней прочности дробимого материала:

$$m = \gamma \pi D L b N \quad (73)$$

В области небольших изменений прочности продуктов дробления возможна линеаризация нелинейного дифференциального уравнения, которым описывается процесс дробления; тогда уравнение изменения запаса материала в дробилке имеет

вид:

$$\frac{d_m}{dt} = \gamma\pi DLN \frac{d\Delta b}{dt}. \quad (74)$$

Зависимость потока  $\Delta Q_2$  от изменения расстояния между валками можно выразить через зависимость:

$$\Delta Q_2 = k\Delta b. \quad (75)$$

$$\gamma\pi DLN \frac{d\Delta b}{dt} + k\Delta b = Q_1. \quad (76)$$

Разделив все члены уравнения (2.13) на  $k$  получим:

$$T_d \frac{d\Delta b}{dt} + \Delta b = k_2 Q_1, \quad (77)$$

где  $T_d = \frac{\gamma\pi DLN}{k}$ ;  $K_2 = \frac{1}{k}$

Отсюда передаточная функция дробилки для зоны от  $m_1$  до  $m_2$  имеет вид:

$$W_2(p) = \frac{k_2}{T_d p + 1}. \quad (78)$$

Для полного представления структурной схемы валковой дробилки как объекта управления необходимо описать возмущающие воздействия.

Наиболее существенными возмущающими воздействиями, влияющими на производительность дробилки, являются изменение расстояния между валками  $\Delta b$  и изменение прочности дробимого материала  $\Delta\sigma$ .

Для описания изменения расстояния между валками воспользуемся рисунком 10.

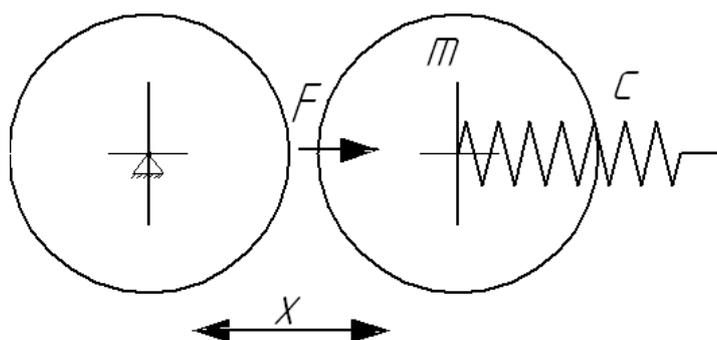


Рисунок 10 – Силы, влияющие на расстояние между валками валковой дробилки

Получим уравнение движения валка, т.е. уравнение, описывающее изменение расстояния между валками:

$$mx + bx + cx = F. \quad (79)$$

Разделив обе части уравнения на жесткость пружины  $c$ , получим передаточную функцию по каналу  $\Delta b$ :

$$W_{b(p)} = \frac{k_4}{T_{1p} + T_{2p} + 1}. \quad (80)$$

Опишем изменение прочности материала, воспользовавшись формулой (80):

$$Q_2 = \gamma V c \frac{\gamma \pi D L b \mu c}{T_{об}}. \quad (81)$$

где  $T_{об}$  – время одного оборота валков;  $\mu$  - коэффициент, учитывающий насыпную плотность материала;  $c$  – жесткость поджимной пружины валка, численно равная суммарному усилию между валками при дроблении  $P_{cp}$  (Н), т.е.  $c = P_{cp} = 0,04\sigma LD$ .

Подставив значение  $c$ , и перемножив численные коэффициенты, получим:

$$Q_2 = \frac{0,025\gamma D^2 L^2 b \sigma}{T_{об}}. \quad (82)$$

Перейдем к отклонениям переменных  $\Delta Q_2$  и  $\Delta \sigma$  от их значений в режиме равновесия  $Q_2^\circ$  и  $\sigma^\circ$ , произведя подстановку  $Q_2 = Q + \Delta Q_2$

$\sigma = \sigma + \Delta \sigma$  в формулу и, пренебрегая ввиду их малости членами с произведениями отклонений, получим уравнение в отклонениях:

$$Q_2 = \frac{0,025\gamma D^2 L^2 b \sigma}{T_{об}}.$$

Отсюда передаточная функция по каналу изменения прочности дробимого 36а счета 36  $\Delta \sigma$  будет иметь вид:

$$W_\sigma(p) = k_5. \quad (84)$$

$$K_5 = \frac{0,025\gamma D^2 L^2 B^2}{T_{об}}. \quad (85)$$

В результате получили структурную схему валковой дробилки как объекта управления, представленную на рисунке 11

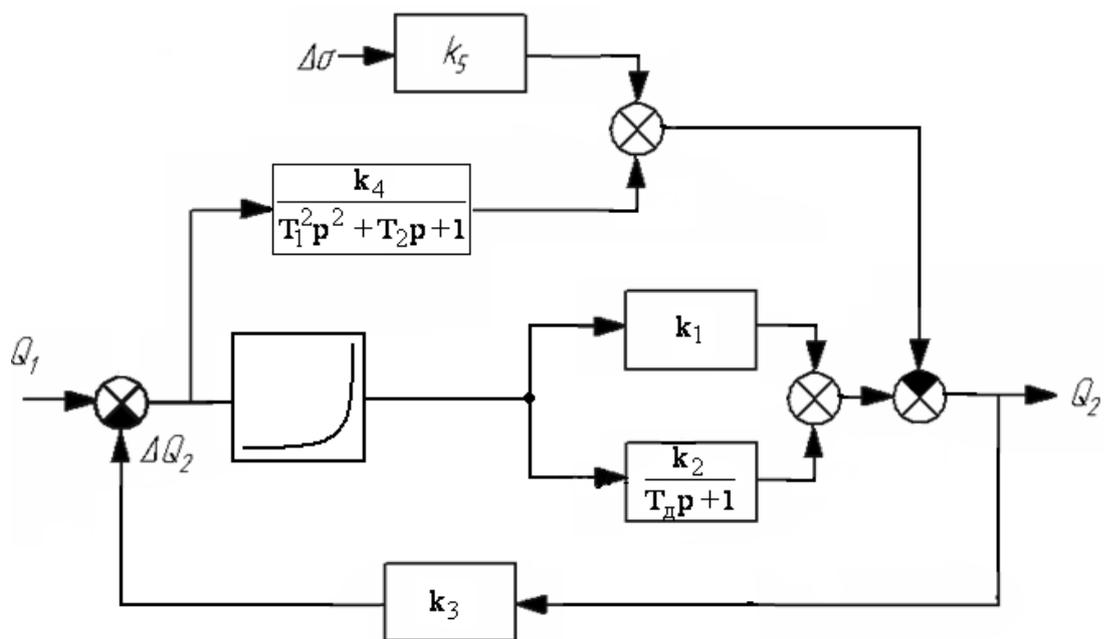


Рисунок 11 – Структурная схема валковой дробилки как объекта управления

### 3.3 Анализ системы автоматизации

Использование персональных компьютеров в учебном процессе позволяет облегчить труд преподавателей и студентов и дать практические навыки в решении тех или иных задач, возникающих в процессе обучения. Для этих целей используется целый набор интегрированных программных систем и пакетов программ, охватывающих практически весь спектр решаемых задач. В частности, средства для автоматизации математических расчетов: Reduce, Derive, TK Solver, MathCAD, MATLAB и многие другие.

Для того чтобы перейти непосредственно к анализу системы с помощью компьютерной программы MATLAB, необходимо подставить численные значения параметров в передаточные функции, полученные в пункте 2.2:

$$W_1(p) = 0.14. \quad (86)$$

$$W_2(p) = \frac{8,64}{1,8p+1}. \quad (87)$$

$$W_b(p) = \frac{0,12}{0,16p+0,01p+1} \quad (88)$$

$$W_\sigma p = 0,0648 \quad (89)$$

$$W_{ocp} = 0.1042 \quad (90)$$

Оценку правильности выбора структуры и параметров спроектированной линейной системы можно проводить сравнением вычисленных показателей качества и точности процессов регулирования, полученных аналитическими или автоматизированными методами с аналогичными данными технических условий. Если определенные показатели качества полностью удовлетворяют заданным, то улучшение показателей качества, как правило, приводит к снижению точности системы. Поэтому при проектировании приходится прибегать к компромиссным решениям, что намного увеличивает затраты труда проектировщика при исследовании системы.

Благодаря системе MATLAB и пакета Simulink труд проектировщика значительно снижается, так как эта система позволяет производить синтез и анализ проектируемых систем, и получать прямые показатели качества регулирования.

На рисунке 2. представлена структурная схема САУ валковой дробилки в обозначениях Simulink.

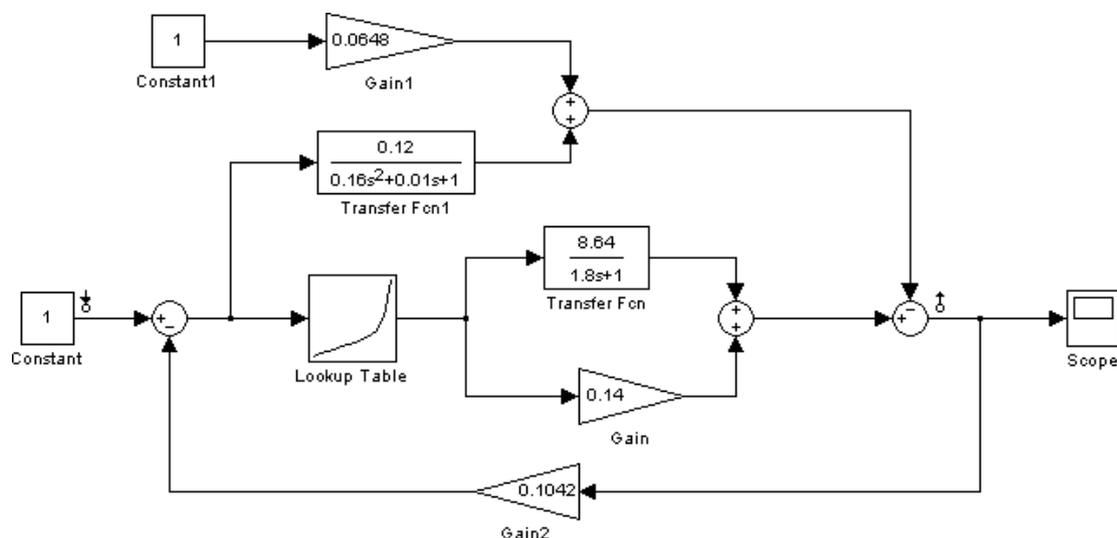


Рисунок 12 – Структурная схема САУ валковой дробилки в обозначениях Simulink

Задача анализа линейных систем автоматического управления включает в себя определение свойств системы в целом (показателей устойчивости и качества) при известных характеристиках входящих в нее звеньев.

Таким образом, для проведения анализа системы автоматического управления необходимо и достаточно определить устойчивость, запасы устойчивости и показатели качества системы автоматического управления и сравнить их с предельными показателями устойчивости и качества, заданными для данной системы.

- САУ должна обеспечивать следующие значения запасов устойчивости и качества регулирования: запас устойчивости по амплитуде  $\Delta L$  не менее 10 дБ;
- запас устойчивости по фазе  $\Delta \varphi$  не менее  $45^\circ$ ;
- ошибка регулирования  $\varepsilon_{ст}$  не более 5 % от задающего воздействия;
- перерегулирование  $\sigma$  не более 15 %;
- время переходного процесса  $t_{пп}$  не более 60 с;
- время нарастания  $t_{нар}$  не более 20 с.

На рисунке 13 изображен переходной процесс САУ валковой дробилки.

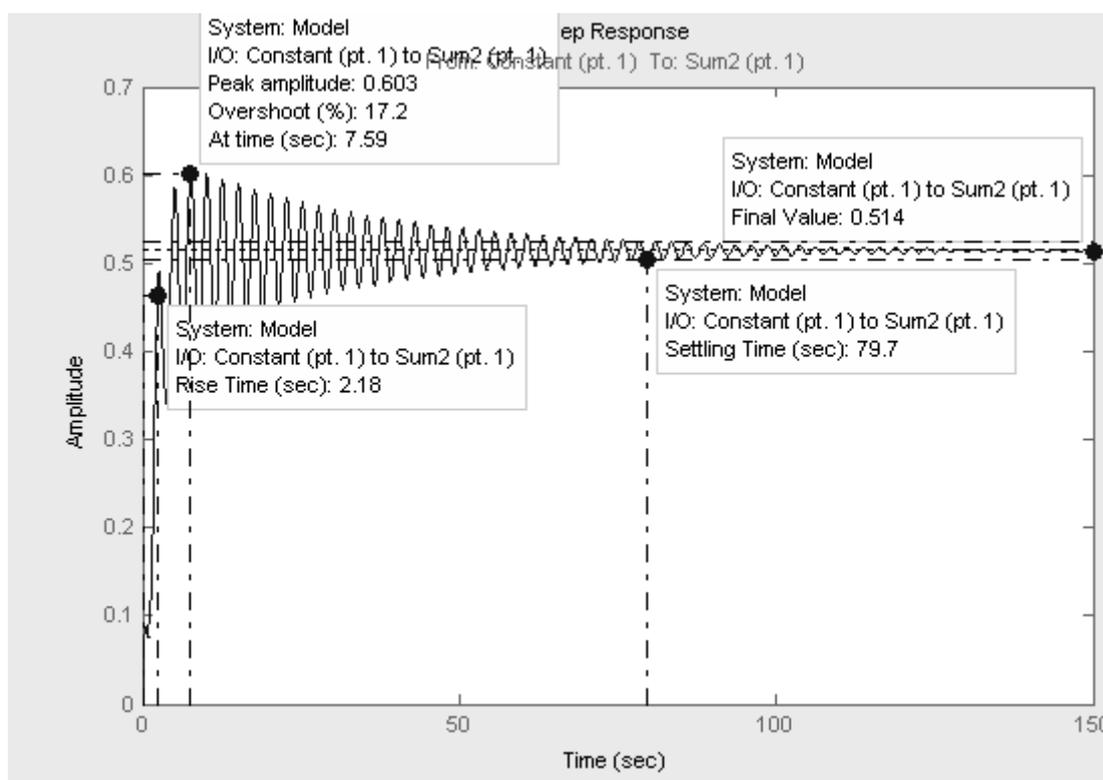


Рисунок 13 – Переходной процесс САУ валковой дробилки

Из рисунка видно, что САУ валковой дробилки без регулятора, обладает следующими показателями качества регулирования:

- установившееся значение выходной величины  $y_{уст}=0,514$ ;
- перерегулирование  $\sigma=17,2\%$ ;
- время переходного процесса  $t_{пп}=79,9$  с;
- время нарастания  $t_{нар}=2,18$  с.

Следовательно, данная система не удовлетворяет предъявляемым к ней требованиям по качеству регулирования. В пакете Simulink для определения устойчивости системы с наличием обратной связи (замкнутой системы) по критерию Найквиста необходимо разомкнуть цепь обратной связи, то есть превратить систему в разомкнутую. Для этого нужно удалить одну из соединительных линий в цепи обратной связи. На рисунке 14 изображена схема САУ валковой дробилки в разомкнутом виде.

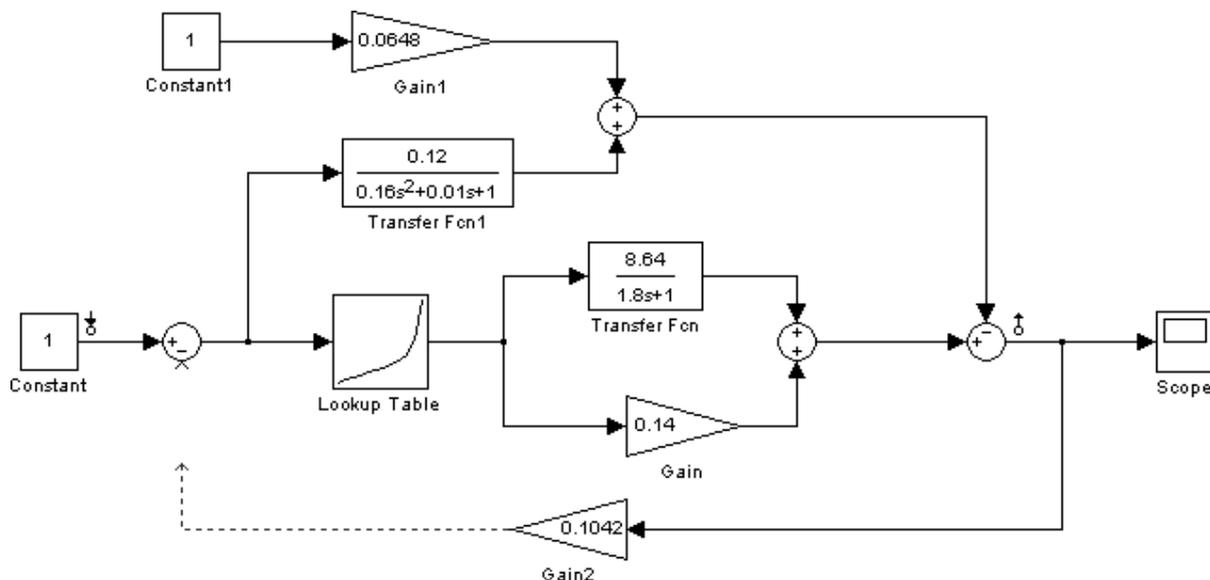


Рисунок 14 – Структурная схема САУ валковой дробилки в разомкнутом виде

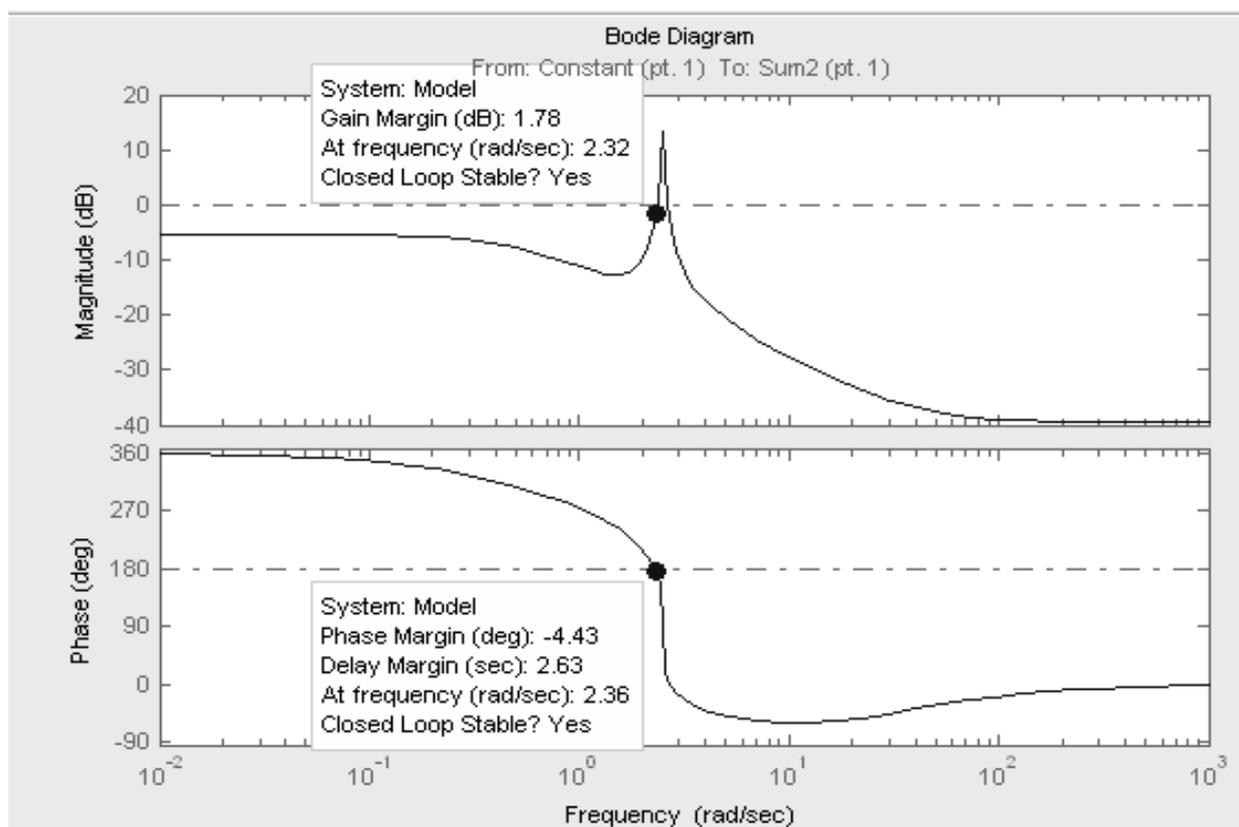


Рисунок 15 – ЛАХ и ЛФХ САУ валковой дробилки

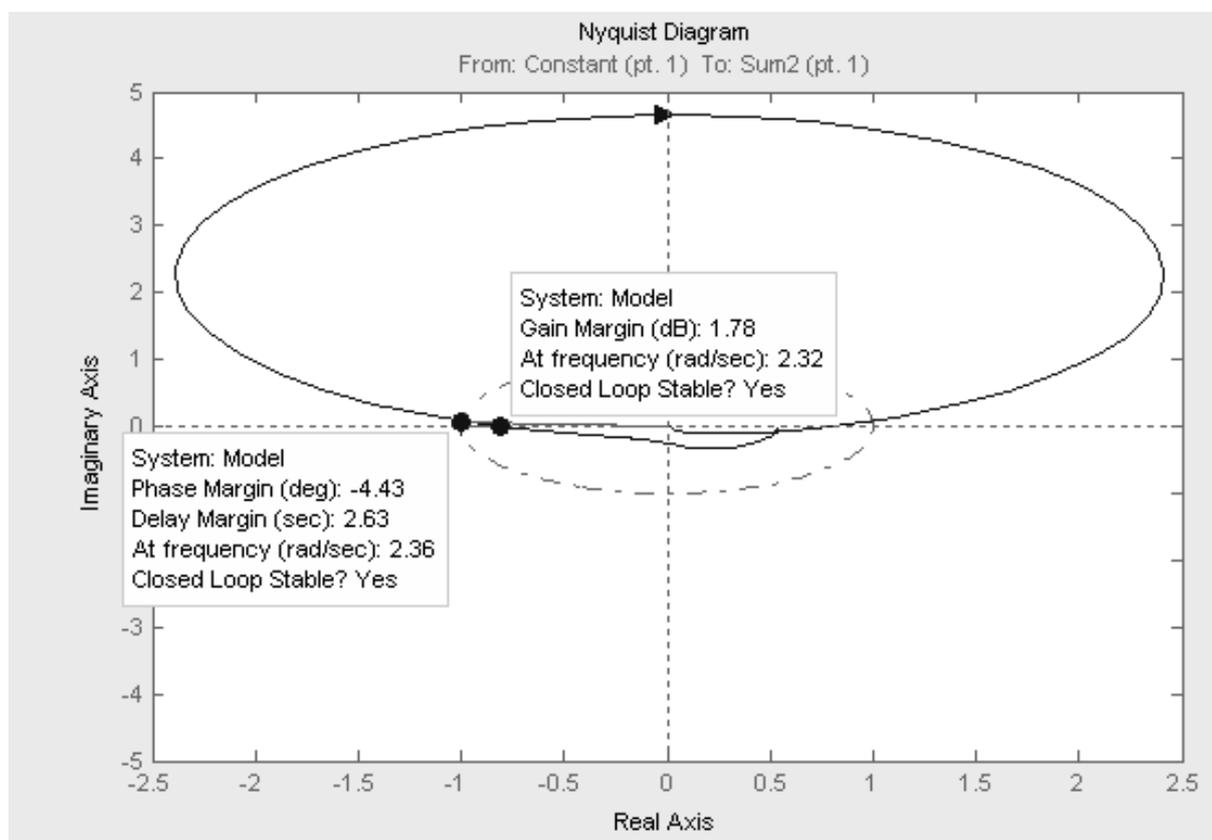


Рисунок 16 – АФЧХ САУ валковой дробилки

Из рисунка 16 видно, что АФЧХ разомкнутой системы охватывает точку с координатами  $(-1, j0)$ , следовательно замкнутая система автоматизированного управления валковой дробилки является не устойчивой.

Такой же вывод можно сделать из анализа ЛЧХ (рисунок 15).

Из графика ЛАХ и ЛФХ видно, что САУ валковой дробилки является не устойчивой.

Запасы устойчивости:

- по амплитуде  $\Delta L = 1,78 \text{ dB}$ ;
- по фазе  $\Delta \varphi = -4,43^\circ$ .

Данная система является не устойчивой, а следовательно не удовлетворяет требованиям заказчика. Поэтому необходимо выбрать регулятор, произвести его настройку и обеспечить систему требуемыми запасами устойчивости и качеством регулирования.

### 3.4 Выбор регулятора и анализ САУ с регулятором

Для получения САУ с параметрами заданными заказчиком необходимо выбрать регулятор, с введением которого система будет иметь наиболее лучшие показатели устойчивости и качества.

Введем в систему поочередно П-регулятор, ПД-регулятор, ПИ- регулятор и ПИД-регулятор.

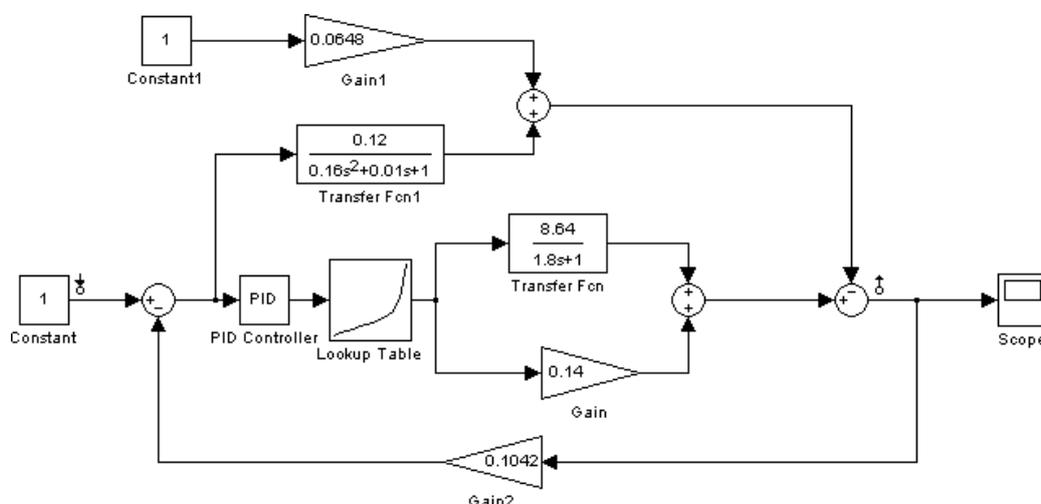


Рисунок 17 – Структурная схема САУ валковой дробилки с регулятором

Введем в схему САУ с регулятором в обозначениях Simulink блок NCD рисунок 18 для получения оптимальных значений параметров регуляторов.

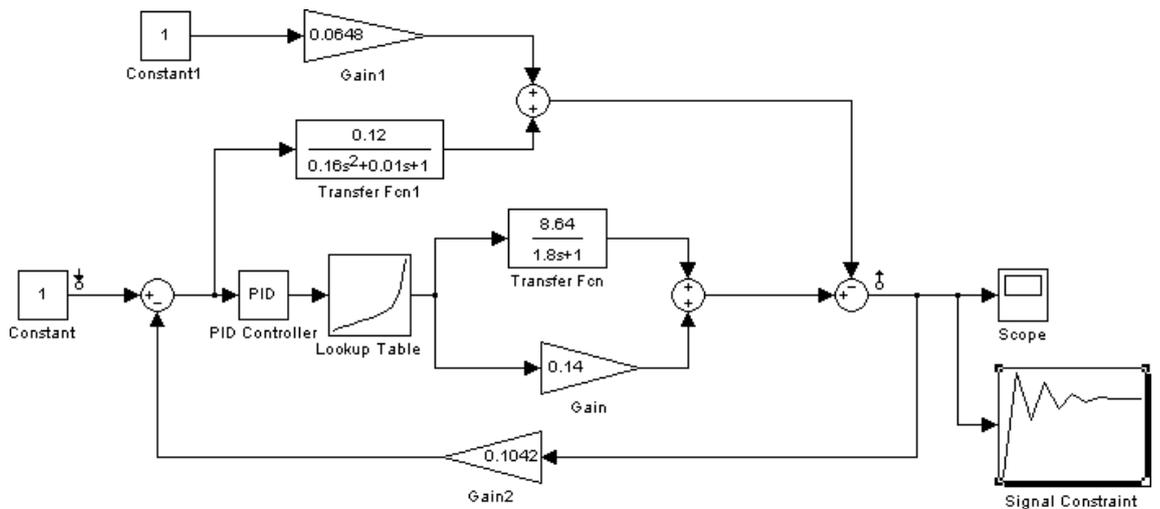


Рисунок 18 – Структурная схема САУ валковой дробилки с регулятором и NCD блоком

Для получения системы с П-регулятором необходимо в блоке PID Controller обнулить дифференциальную и интегральную составляющие (19).

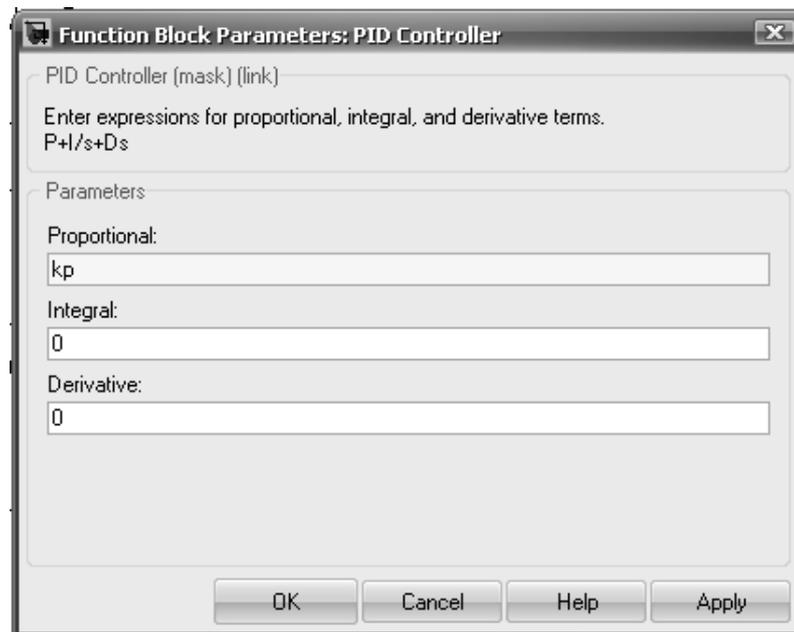


Рисунок 19 – Окно задания характеристик П-регулятора

На рисунках 20;26 представлены характеристики П-регулятора при  $k_{\text{П}}=2,8916$ .

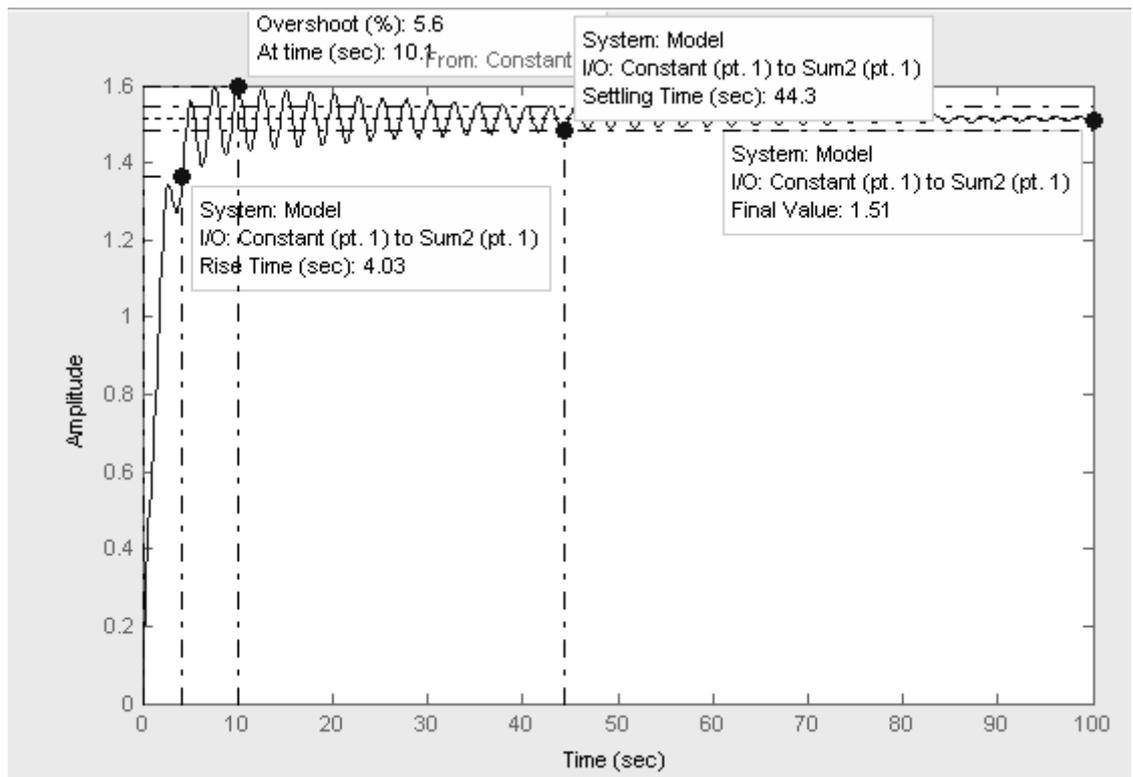


Рисунок 20 – Переходная характеристика системы с П-регулятором

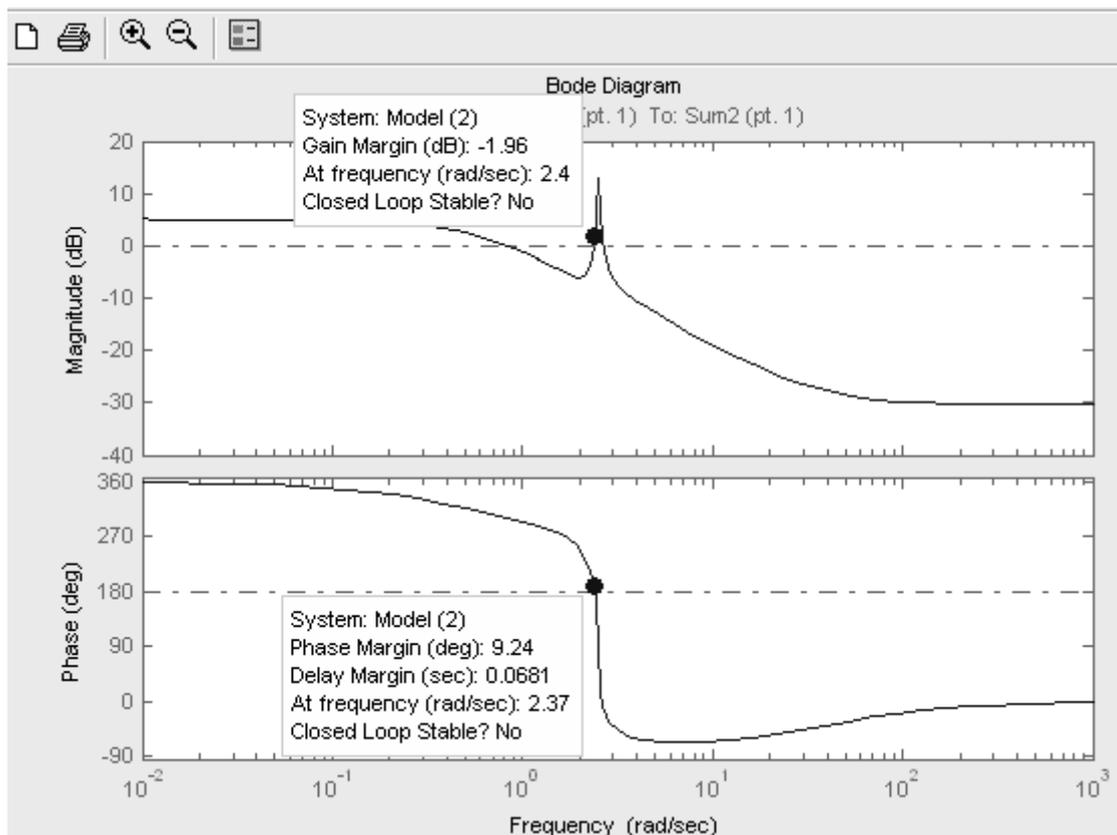


Рисунок 21 – ЛАХ и ЛФХ системы с П-регулятором

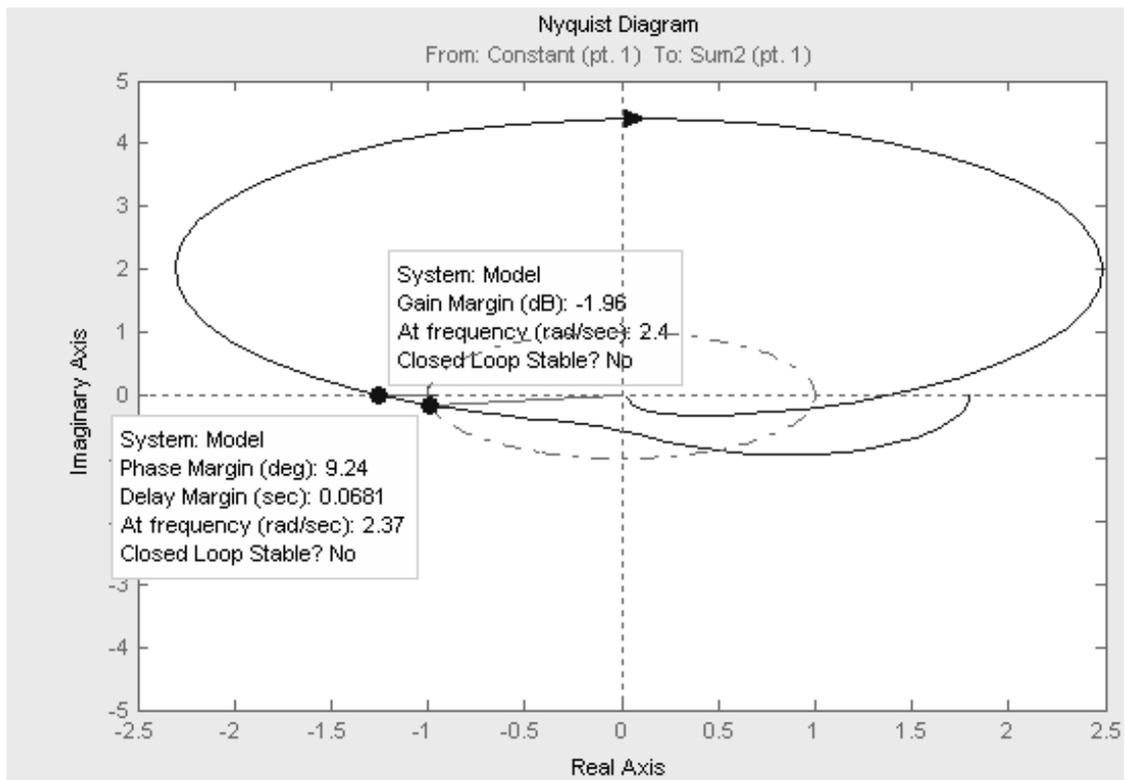


Рисунок 22 – АФЧХ системы с П-регулятором

Для получения системы с ПИ-регулятором необходимо в блоке PID Controller обнулить дифференциальную составляющую рисунок 22.

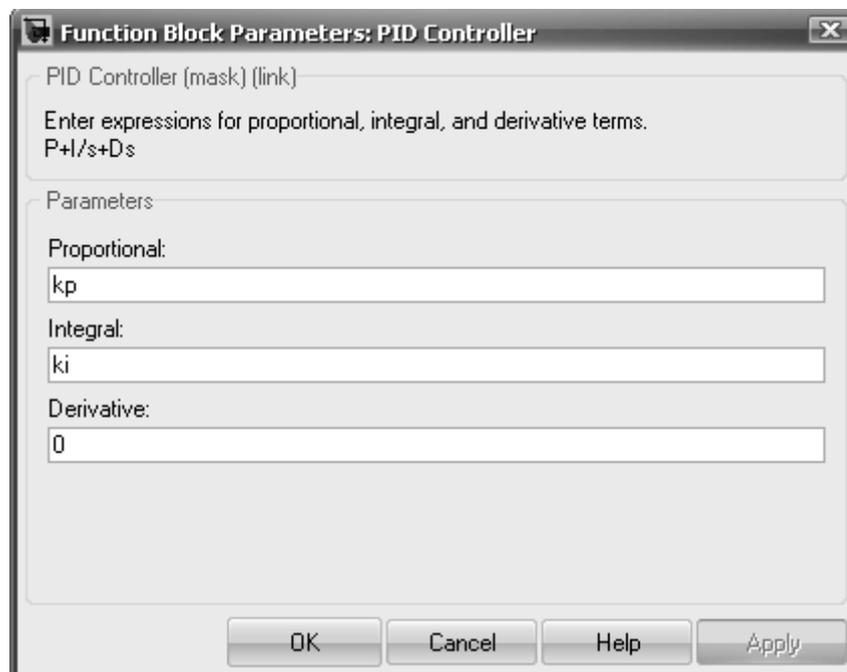


Рисунок 23 – Окно задания характеристик ПИ-регулятора

На рисунках 24;25 представлены характеристики ПИ-регулятора при  $k_p=6,1092$  и  $k_i=-1,4147$ .

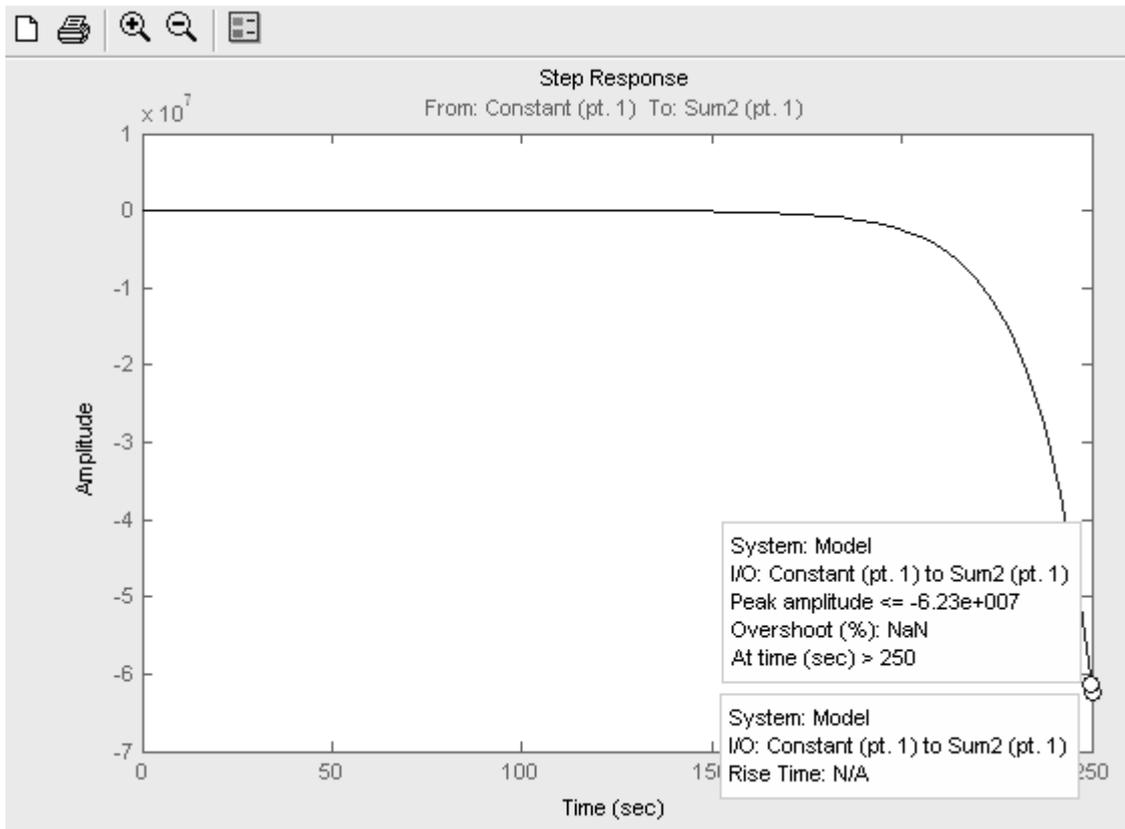


Рисунок 24 – Переходная характеристика системы с ПИ-регулятором

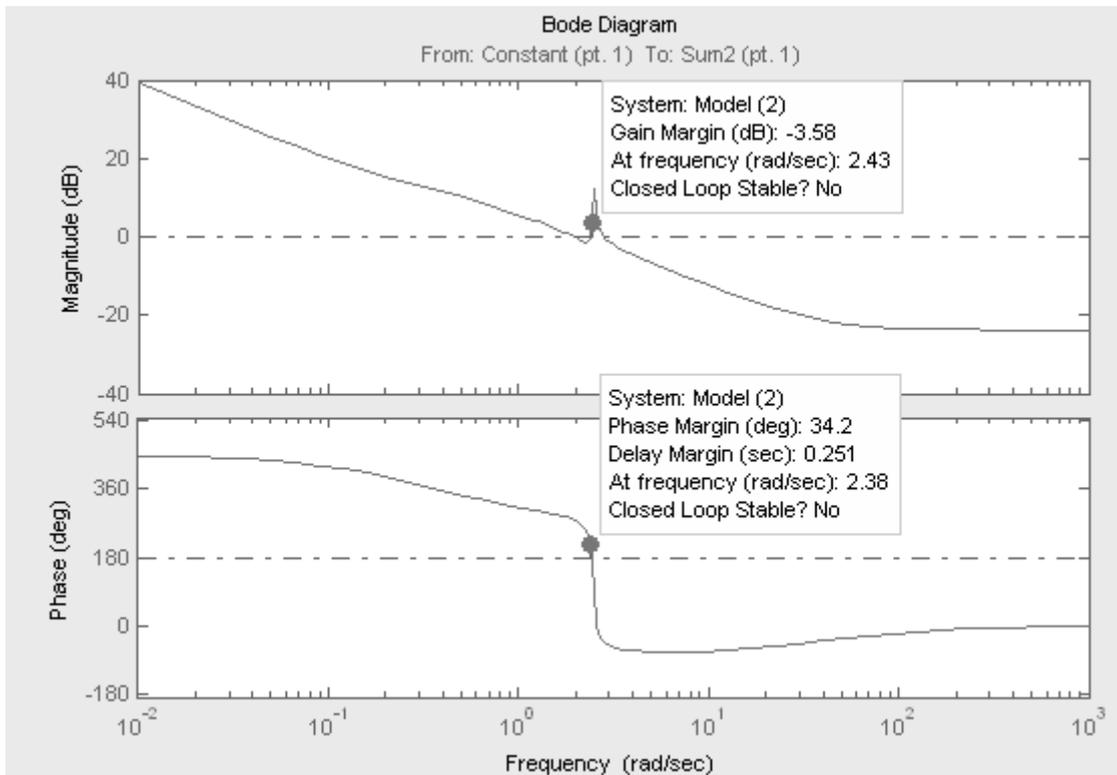


Рисунок 25 – ЛАХ и ЛФХ системы с ПИ-регулятором

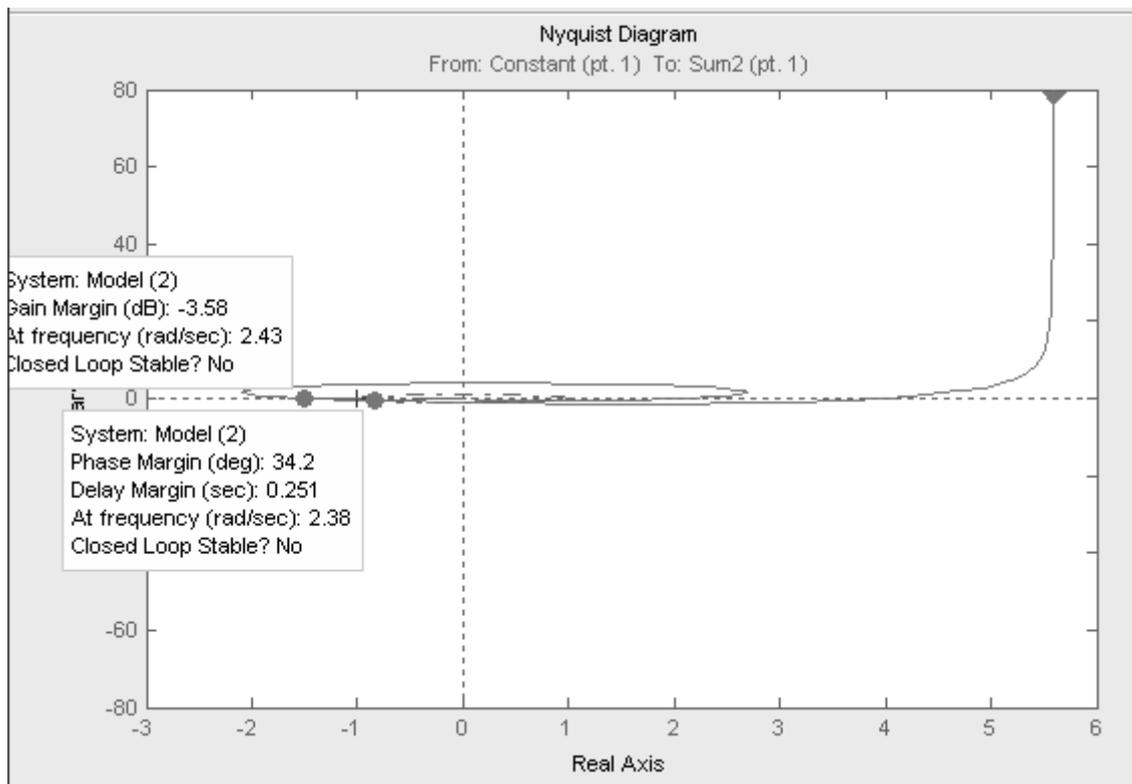


Рисунок 26 – АФЧХ системы с ПИ-регулятором

Для получения системы с ПД-регулятором необходимо в блоке PID Controller обнулить интегральную составляющую рисунок 27.

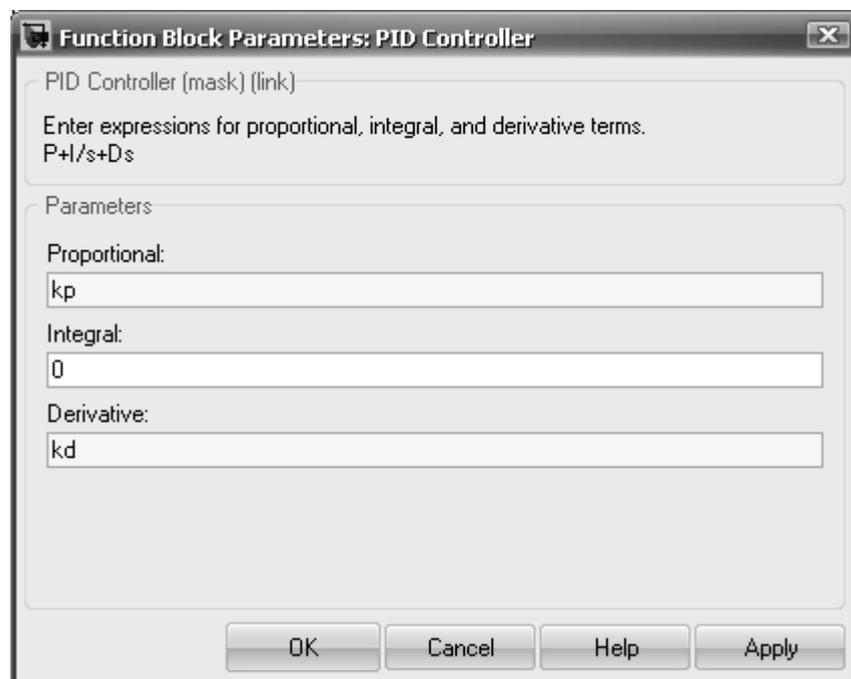


Рисунок 27 – Окно задания характеристик ПД-регулятора

На рисунках 28;30 представлены характеристики ПД-регулятора при  $k_p=114,2825$  и  $k_d=2,4934e+005$ .

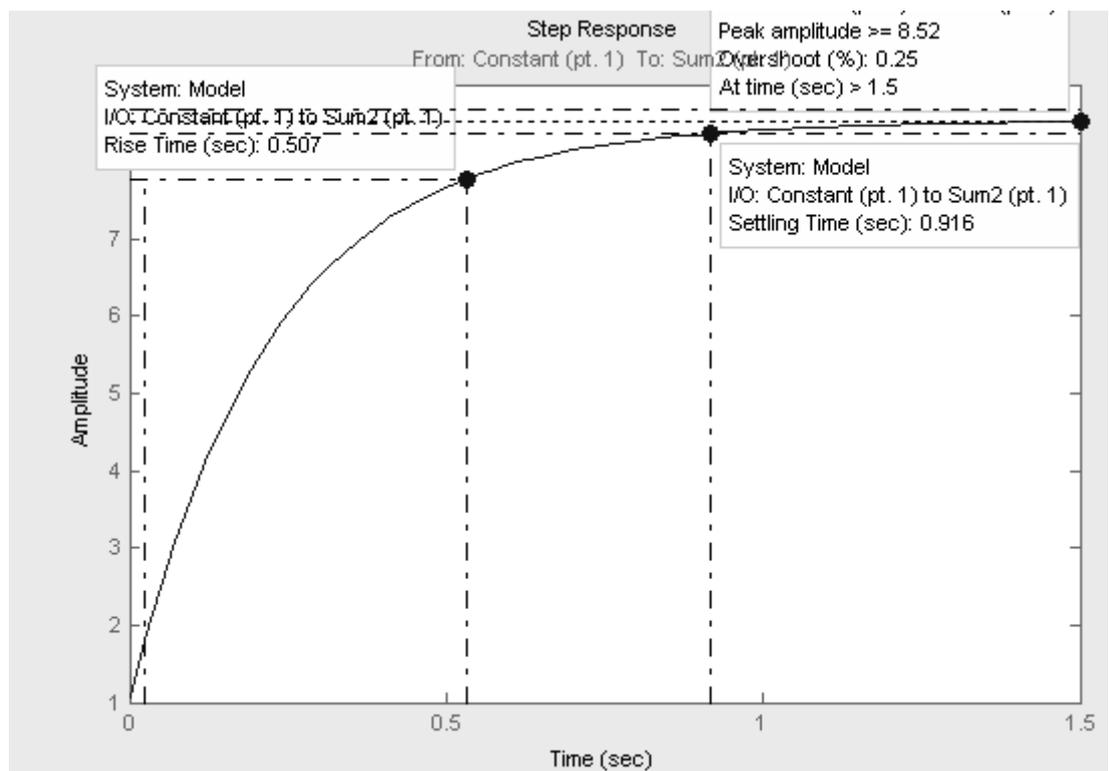


Рисунок 28 – Переходная характеристика системы с ПД-регулятором

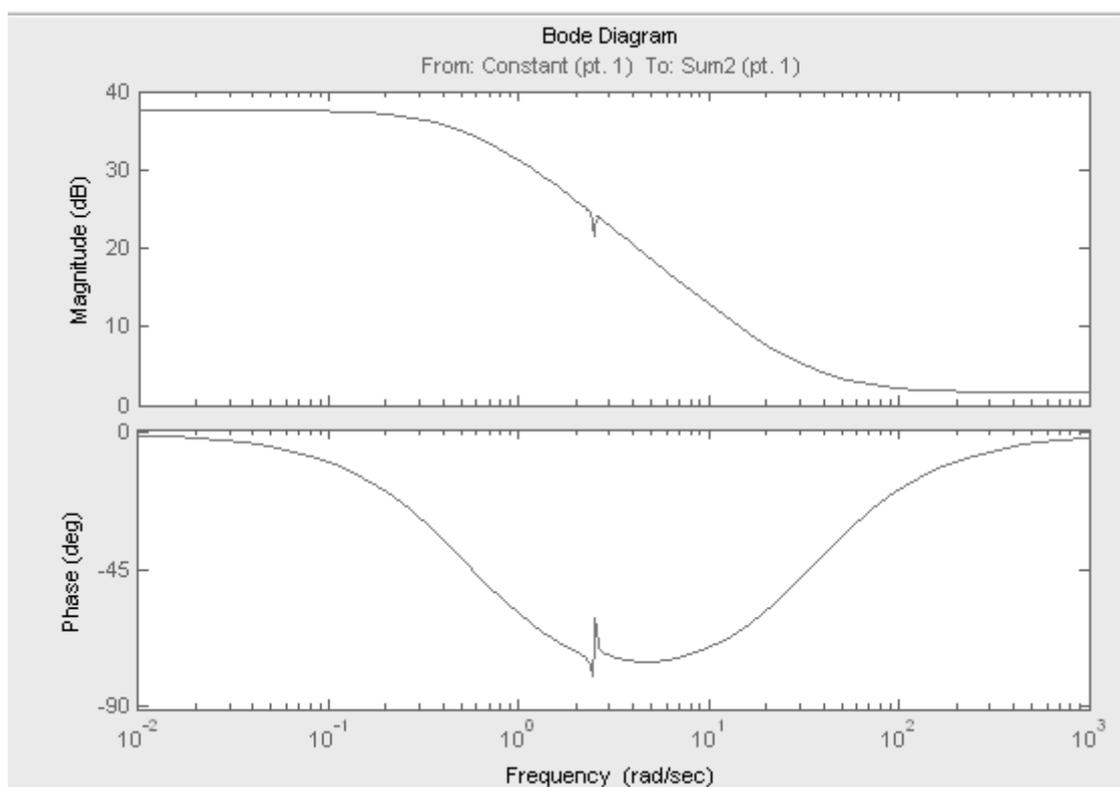


Рисунок 30 – ЛАХ и ЛФХ системы с ПД-регулятором

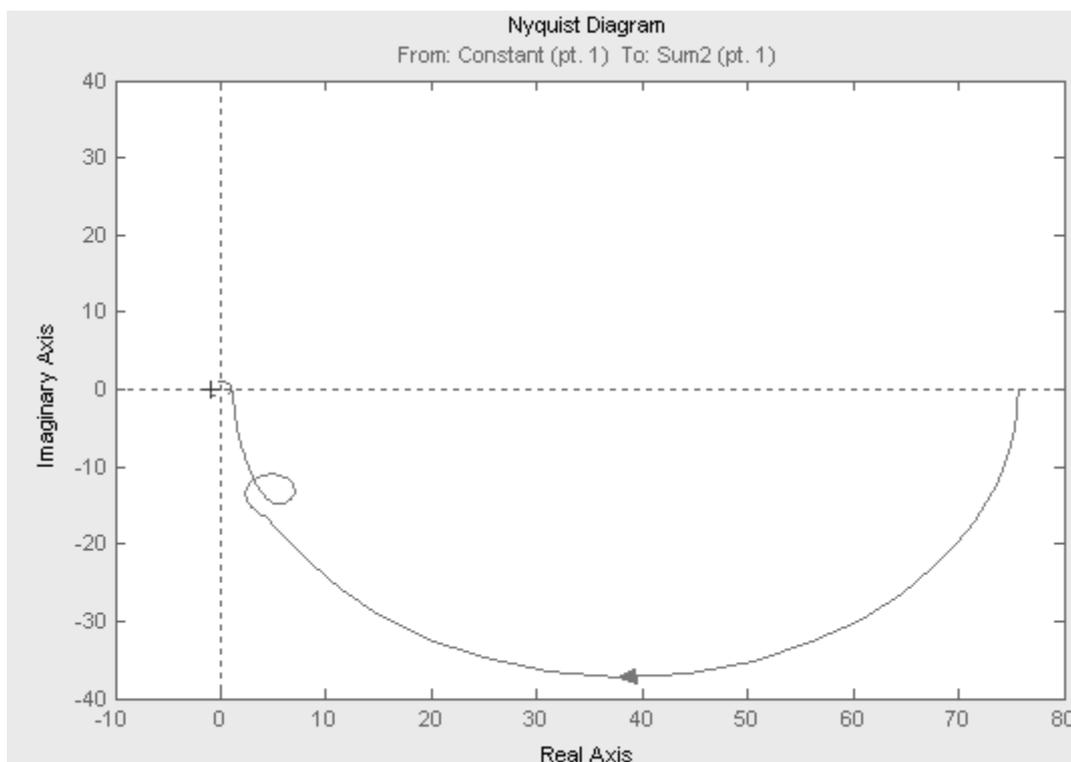


Рисунок 31 – АФЧХ системы с ПД-регулятором

Для получения системы с ПИД-регулятором необходимо в блоке PID Controller ввести все 3 составляющих рисунок 32.

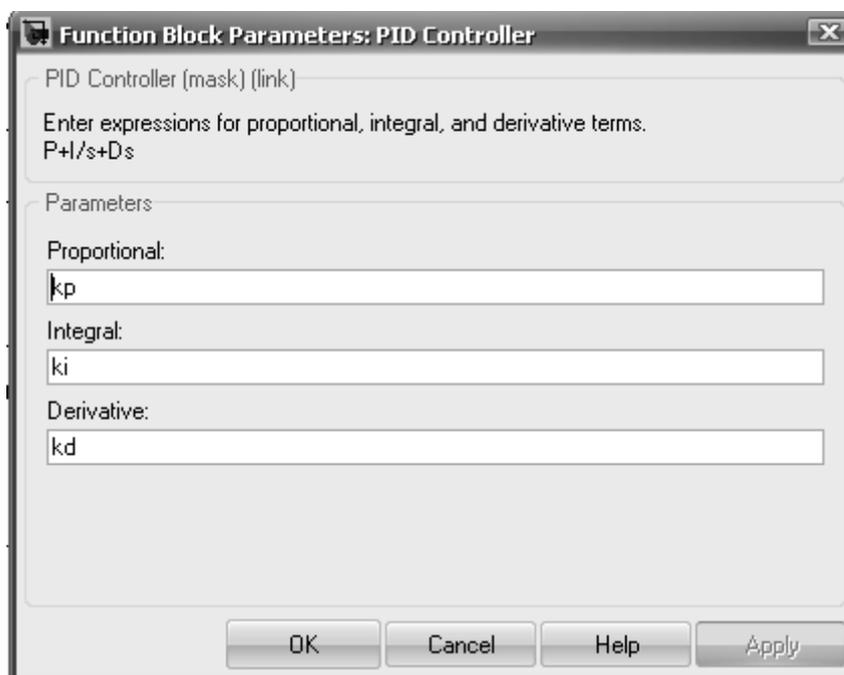


Рисунок 32 – Окно задания характеристик ПИД-регулятора

На рисунках 33-35 представлены характеристики ПИД-регулятора при  $k_p=115,5783$ ,  $k_i=1$  и  $k_d=2,6016e+006$ .

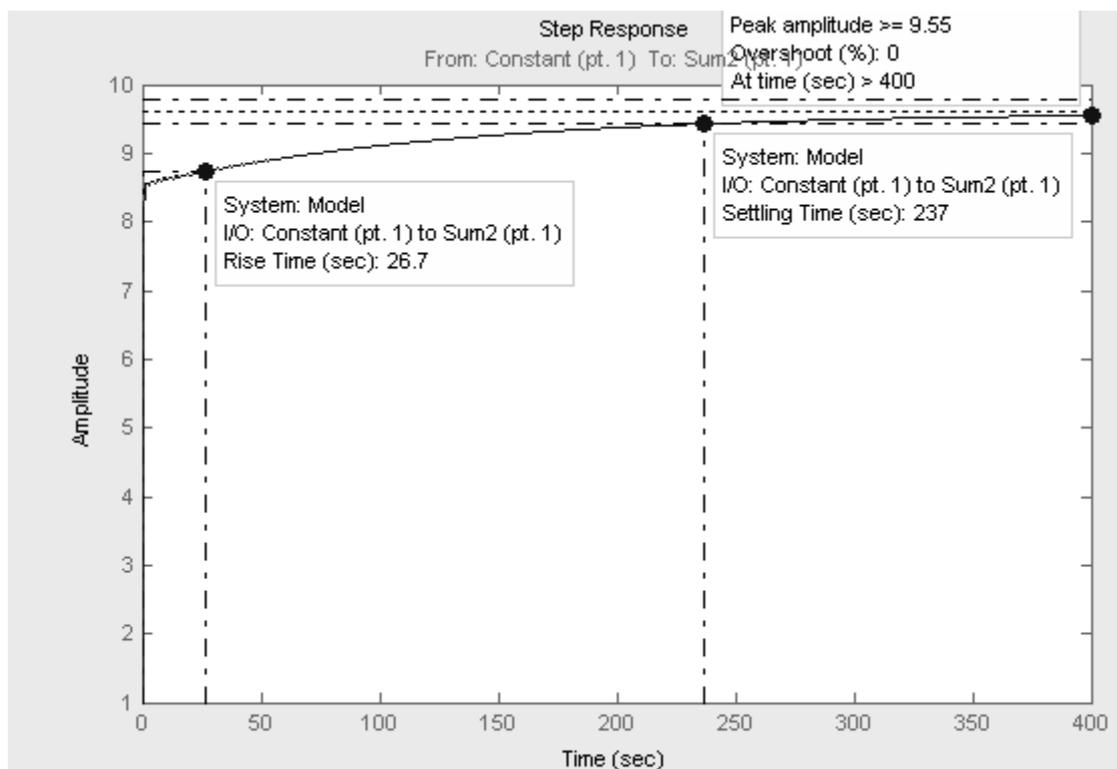


Рисунок 33 – АФЧХ системы с ПИД-регулятором

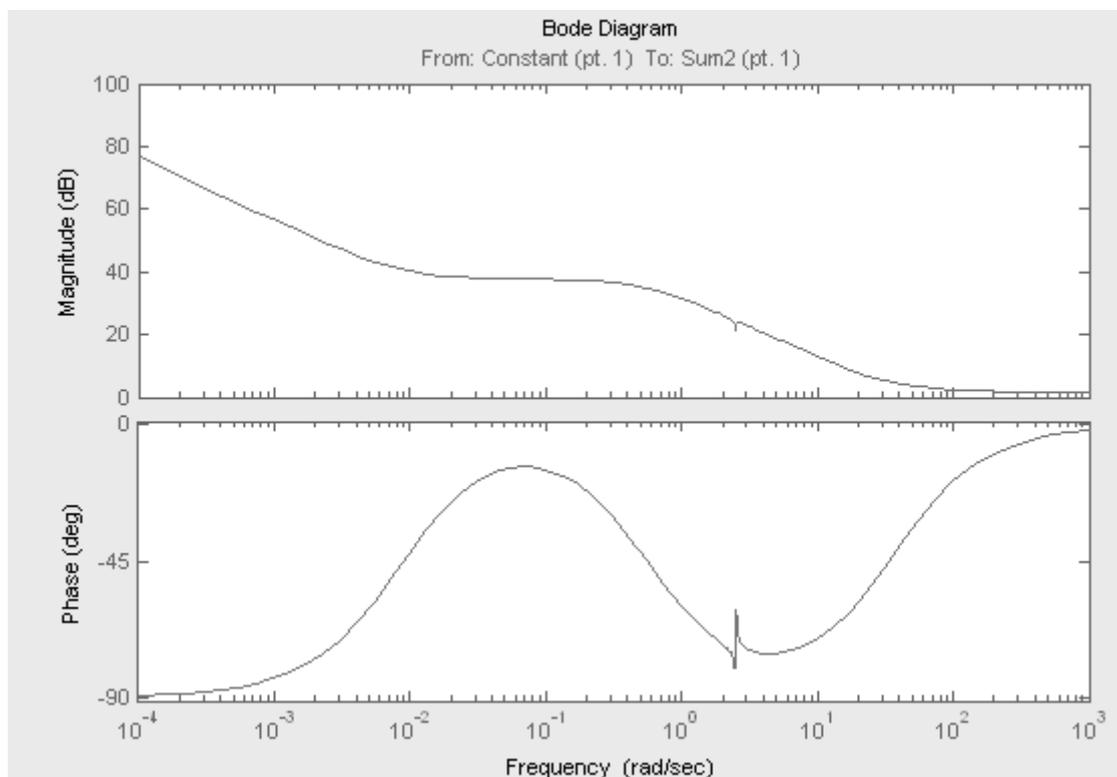


Рисунок 34 – ЛАХ и ЛФХ системы с ПИД-регулятором

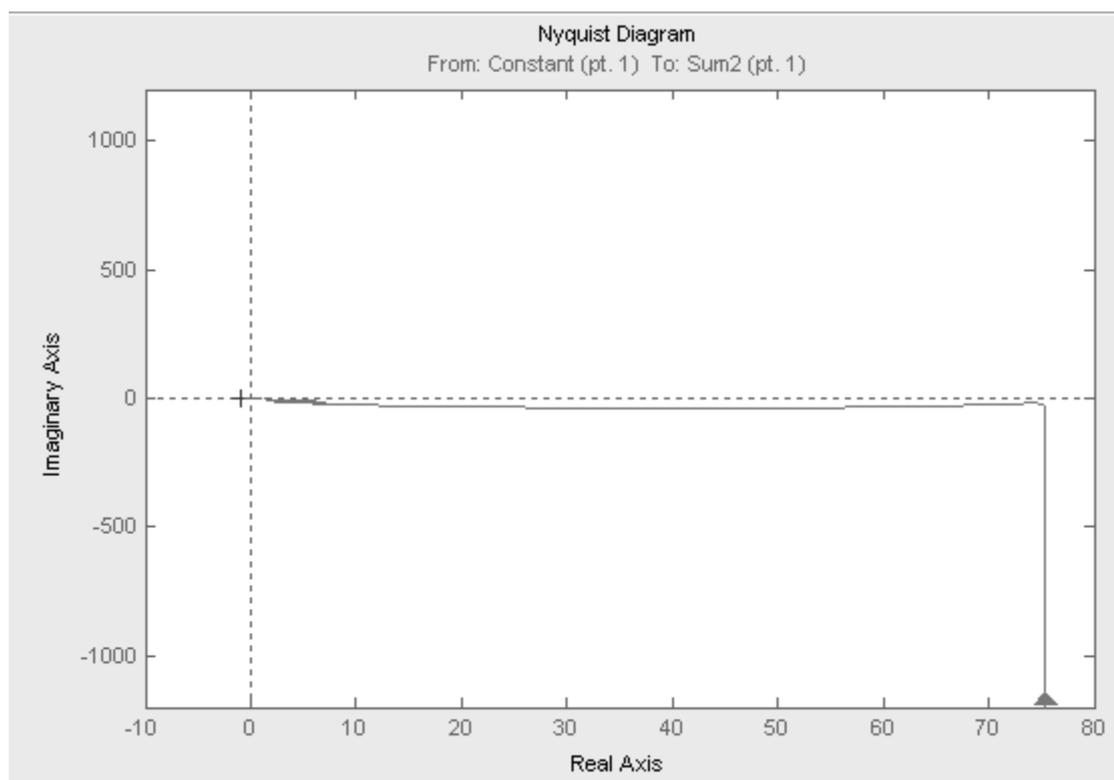


Рисунок 35 – АФЧХ системы с ПИД-регулятором

На основе полученных характеристик системы с разными регуляторами, составим сравнительную таблицу:

Таблица 4– Характеристики САУ валковой дробилки

Критерии	Система без регулятора	Система с регулятором			
		П	ПИ	ПД	ПИД
Запас устойчивости по амплитуде $\Delta L$ dB	1,78	-1,96	-3,58	$\rightarrow\infty$	—
Запас устойчивости по фазе $\Delta\phi$ ,град.	4,43	9,24	34,2	$\rightarrow\infty$	—
Перерегулирование $\sigma$ ,%	17,2	5,6	NAN	0,25	0
Время переходного процесса $t_{пп}$ ,с	79,9	44,3	$\rightarrow\infty$	0,916	237

### 3.5 Выбор технических средств автоматизации для разрабатываемой САУ валковой дробилкой

Для разрабатываемой САУ валковой дробилкой я выбираю следующие технические средства автоматизации: датчик частоты вращения ДЧВ – 2 Дельта, уровнемер радиоволновый УР 203Ех 15, бесконтактный магнестрикционный первичный преобразователь линейного перемещения МК4 D.

Описание датчика частоты вращения ДЧВ – 2 Дельта [15]. Особенность датчика ДЧВ – 2 Дельта (рисунок 36) – возможность формирования выходных импульсов при очень низких оборотах зубчатого колеса и возможность отслеживания направления вращения (ДЧВ-2/1).

Датчик имеет латунный корпус, в котором расположен электронный

Особенность датчика ДЧВ – 2 Дельта (рисунок 36) – возможность формирования выходных импульсов при очень низких оборотах зубчатого колеса и возможность отслеживания направления вращения (ДЧВ-2/1).

Датчик имеет латунный корпус, в котором расположен электронный узел (чувствительный элемент) залитый компаундом. Заливка обеспечивает герметизацию конструкции и устойчивость к вибрации в соответствии с ТУ 566.М294/39'016'92. Датчик работает с зубчатым колесом из ферромагнитного материала (стали).



Рисунок 36 – Датчик частоты вращения ДЧВ – 2 Дельта

В основу работы чувствительного элемента положен магнитомодуляционный принцип. При прохождении зуба колеса вблизи

чувствительного элемента электронная схема датчика на выходе формирует прямоугольный импульс. Схема имеет гистерезис по порогу срабатывания, что исключает формирование ложных импульсов при нестабильности параметров, например, при биении колеса в пределах рабочего зазора. Датчик имеет защиту от переплюсовки питания. Проводники маркированы для подключения к внешним цепям. Для более надежной работы датчика ширина паза (наружный размер) зубчатого колеса не менее 1мм. Этому условию соответствуют шестерни зубчатой передачи. Датчик может быть использован в машиностроении, нефтяной, газовой промышленности, в сфере управления тяговыми двигателями и др.

ДЧВ 2 Дельта не требует ориентации между рабочим колесом относительно зуба, что упрощает установку датчика в двигатель. Рабочий диапазон: - от 0 до 25 кГц – позволяет использовать его в любых отраслях производства, транспорта, машиностроения. Температурный режим работы: от (-60) до (+125) градусов, что ведет к неограниченному использованию в любых климатических условиях.

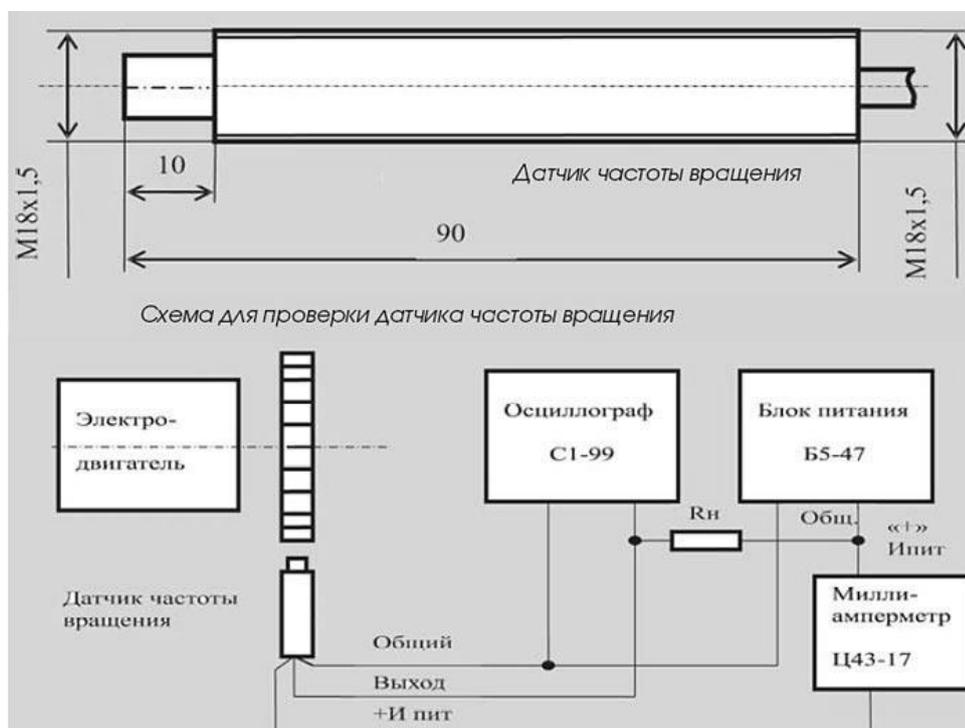


Рисунок 37 – Схема датчика вращения ДЧВ – 2 Дельта

Способность датчика реагировать на рабочее колесо толщиной от 1,6 мм ведет к уменьшению веса самого рабочего колеса, удешевления изготовления

колеса путем холодной штамповки. Корпус датчика полностью изолирован, изготовлен из латуни, что позволяет эксплуатацию в агрессивных средах, магнитных полях. Допускает воздействие ударных нагрузок до 50 г.

Описание уровнемера радиоволнового УР 203Ех 15.



Рисунок 38 – Уровнемер радиоволновый УР 203Ех 15

Назначение, принцип действия.

Радиоволновые уровнемеры взрывозащищенного исполнения УР 203Ех предназначены для бесконтактного непрерывного измерения уровня жидких, сыпучих и кусковых продуктов, в технологических резервуарах, танках, силосах, бункерах и т.п. стационарных объектах, а также для обмена информацией с другими техническими средствами автоматизированных систем управления (АСУ). Уровнемеры УР 203Ех допускают размещение во взрывоопасных зонах помещений и наружных установок классов 1 и 2 согласно ГОСТ Р 51330.09 – 99 и другим нормативным документам, регламентирующим применение электрооборудования во взрывоопасных зонах. Уровнемеры по метрологическим свойствам относятся к средствам автоматизации и государственному метрологическому контролю и надзору не подлежат.

Принцип действия уровнемера основан на облучении поверхности контролируемой среды радиоволновым сигналом СВЧ с периодически изменяющейся частотой. В результате взаимодействия излученного и

отраженного сигналов возникает сигнал разностной частоты, пропорциональной расстоянию от антенны излучателя до поверхности продукта. После соответствующей обработки сигнала разностной частоты

вырабатывается цифровой (кодовый) и токовый выходные сигналы, пропорциональные текущему значению измеряемого уровня.

Отличительные особенности:

- Высокая надежность и стабильность измерений независимо от воздействия дестабилизирующих факторов (широкий диапазон температур, агрессивный характер измеряемой среды, запыленность);

- Возможность работы в условиях испарений и конденсата;

- Повышенная температурная стабильность;

- Отсутствие непосредственного контакта с измеряемым продуктом;

- Автодиагностика и сигнализация отказов;

- Компактность, простота установки и эксплуатации;

- Возможность демонтажа измерительной части прибора без разгерметизации емкости;

- Отсутствует необходимость перепроверки показаний при регламентных работах за счет привязки частоты излучения к частоте эталонного генератора;

- Настройка и калибровка осуществляется дистанционно через интерфейс цифровой коммуникации.

Взрывозащищенность.

Взрывозащита уровнемера обеспечивается металлической оболочкой, сопрягаемыми с ней кабельными вводами и рупорной антенной, способными выдерживать давление взрыва при воспламенении смеси внутри оболочки без повреждения и передачи воспламенения в окружающую взрывоопасную среду. Уровнемер соответствует требованиям к взрывонепроницаемым оболочкам по ГОСТ Р 51330.1-99 и общим требованиям взрывозащиты по ГОСТ Р 51330.0-99 для взрывоопасных сред категории ПВ, температурного класса ТЗ. Маркировка

уровня и вида взрывозащиты уровнемера, категории и температурного класса взрывоопасной смеси – 1ExdПВТЗ.

Описание бесконтактного магнестрикционного первичного преобразователя линейного перемещения МК4 D.



Рисунок 39 – Бесконтактный магнестрикционный первичный преобразователь линейного перемещения МК4 D

Бесконтактный преобразователь линейного позиционирования с магнестрикционной технологией с Start/Stop или PWM интерфейсом с цифровым выходом. Отсутствие электрического контакта на курсоре исключает быстрый износ и гарантирует длительный срок эксплуатации. Компактный размер для упрощенной установки. Полная защита против внешних воздействий для использования в жестких условиях эксплуатации с большой загрязненностью и наличием пыли. Превосходная линейность, воспроизводимость, устойчивость к механическим вибрациям и ударам.

#### 4 БЕЗАПОСНОСТЬ ЖИЗНИДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Дробильное оборудование формируется рынком сбыта и подвергается постоянному совершенствованию, причём проблемы безопасности эксплуатации и экологической защиты окружающей среды решаются одновременно с проблемами увеличения ресурса и другими вопросами. На большей части предприятий, начиная с этапа разработки, проблема безопасности эксплуатации превалирует над остальными. Однако реальность подтверждает ежегодно повторяющиеся случаи отказов и аварий оборудования при механизированном дроблении материалов.

Основной причиной возникновения аварийных ситуаций со смертельным исходом являются два фактора – «полное пренебрежение человека опасностью при работе с оборудованием» и «полное пренебрежение оборудования при работе с человеком». При таком раскладе полностью безопасных ситуаций не существует, и если работа проводится громоздкими механизмами и агрегатами, то требуется создание взаимно приемлемых для обеих сторон условий взаимодействия.

Следует учитывать все факторы взаимодействия человека и оборудования, поэтому в настоящее время во всех развитых странах мира создаются условия для решения проблем безопасности эксплуатации оборудования, как за счёт разработки нового программного обеспечения, так и за счёт создания современных аппаратных средств.

Если говорить о программном обеспечении (т.е. о формировании справочников и руководств по эксплуатации оборудования в памяти информационных средств, а также об устройствах регистрации информации), то благодаря введённому в 1995 г. Методу PL изменились подход и представление о нормах безопасной эксплуатации строительного оборудования, что в первую очередь было отражено в программных средствах бортовых компьютеров.

Дробильное оборудование, как и всё строительное оборудование, независимо от того, в какой стране оно эксплуатируется, должно соответствовать требованиям международных норм и стандартов, в первую очередь стандартов,

регламентирующих безопасность проведения работ.

Если рассматривать примеры создания бортовых средств аппаратного обеспечения, то первые образцы устанавливались на дробильном оборудовании, предназначенном для работы в тяжёлых условиях вторичной переработки материалов, где отказы основных дробильных агрегатов происходили в основном от чрезмерного нагружения.

Практика применения метода PL позволила экономически обосновать затраты на проведение мероприятий по безопасности эксплуатации, предприятиям-поставщикам дробильного оборудования были направлены рекламации на отдельные агрегаты, результатом чего стало совершенствование деловых отношений, касающихся сокращения несчастных случаев. Это полностью не исключило травматизм персонала, но позволило его резко снизить.

#### 4.1 Анализ опасных и вредных факторов, возникающих при работе валковой дробилки

Современное дробильное оборудование по своим санитарно-гигиеническим показателям полностью не удовлетворяет установленным требованиям и нормам обеспечения нормальных условий работы обслуживающего персонала. Поэтому выбору способа установки и эксплуатации оборудования следует уделять особое внимание. Как правило, при этом оценивают комплекс мероприятий. Ниже рассмотрены основные показатели оборудования по шуму, вибрации, пылеобразованию и меры по их снижению.

Малые механические колебания, возникающие в упругих телах или телах, находящихся под воздействием переменного физического поля, называются вибрацией. Воздействие вибрации на человека классифицируют: по способу передачи колебаний; по направлению действия вибрации; по временной характеристике вибрации.

В зависимости от способа передачи колебаний человеку вибрацию подразделяют на общую, передающуюся через опорные поверхности на тело сидящего или стоящего человека, и локальную, передающуюся через руки

человека. Вибрация, воздействующая на ноги сидящего человека, на предплечья, контактирующие с вибрирующим и поверхностями рабочих столов, также относится к локальной.

Вибрация относится к факторам, обладающим высокой биологической активностью. Выраженность ответных реакций обуславливается главным образом силой энергетического воздействия и биомеханическими свойствами человеческого тела как сложной колебательной системы.

Между ответными реакциями организма и уровнем воздействующей вибрации нет линейной зависимости. Причину этого явления видят в резонансном эффекте, При повышении частот колебаний более 0,7 Гц возможны резонансные колебания в органах человека. Резонанс человеческого тела, отдельных его органов наступает под действием внешних сил при совпадении собственных частот колебаний внутренних органов с частотами внешних сил. Область резонанса для головы в положении сидя при вертикальных вибрациях располагается в зоне между 20...30 Гц, при горизонтальных – 1,5...2 Гц.

Особое значение резонанс приобретает по отношению к органу зрения. Расстройство зрительных восприятий проявляется в частотном диапазоне между 60 и 90 Гц, что соответствует резонансу глазных яблок. Для органов, расположенных в грудной клетке и брюшной полости, резонансными являются частоты 3...3,5 Гц. Для всего тела в положении сидя резонанс наступает на частотах 4...6 Гц.

Вибрационная патология стоит на втором месте (после пылевых) среди профессиональных заболеваний. Рассматривая нарушения состояния здоровья при вибрационном воздействии, следует отметить, что частота заболеваний определяется величиной дозы, а особенности клинических проявлений формируются под влиянием спектра вибраций.

У рабочих вибрационных профессий отмечены головокружения, расстройство координации движений, симптомы укачивания, вестибуловегетативная неустойчивость. Нарушение зрительной функции проявляется сужением и выпадением отдельных участков полей зрения,

снижением остроты зрения, иногда до 40 %, субъективно — потемнением в глазах.

Гигиеническое нормирование вибраций регламентирует параметры производственной вибрации и правила работы с виброопасными механизмами и оборудованием, ГОСТ 12.1.012-2004 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования», 31191.1-2004 (ИСО 2631-1:1997).

«Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 1. Общие требования», ГОСТ 31191.2-2004 (ИСО 2631-2:2003)

« Вибрация и удар. Измерение общей вибрации оценка ее воздействия на человека. Часть 2. Вибрация внутри зданий». Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.5 6696 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий». Документы устанавливают: классификацию вибраций, методы гигиенической оценки, нормируемые параметры и их допустимые значения, режимы труда лиц виброопасных профессий, подвергающихся воздействию локальной вибрации, требования к обеспечению вибробезопасности и к вибрационным характеристикам машин. При работе дробилок на фундаменты передаются большие горизонтальные динамические нагрузки, которые наиболее опасны для строительных конструкций при расположении оборудования на высоких отметках. В связи с этим фундаменты дробилок выполняют обычно из монолитного железобетона, и, тем не менее, в ряде случаев они испытывают недопустимые вибрации.

Важной областью применения виброизоляции является установка модернизированного (более мощного) оборудования на существующие фундаменты под устаревшие машины. В настоящее время уже используют такой путь. Эффект здесь весьма значителен, так как в противном случае потребовалось бы разбирать старый фундамент и возводить новый. Испытания показали, что применение виброизоляции не изменяет работоспособности и производительности дробилок, качество выдаваемой дробленой продукции соответствует техническим условиям эксплуатации дробилок.

## Пыль.

При эксплуатации дробильного оборудования важнейшей задачей является защита обслуживающего персонала от вредных воздействий пыли.

Пыль – понятие, характеризующее физическое состояние вещества – раздробленность его на мельчайшие частицы. Последние, находясь во взвешенном состоянии, представляют собой дисперсионную систему (аэрозоль), в которой дисперсной фазой являются твердые частицы, а дисперсной средой – воздух.

Промышленная пыль образуется в результате дробления, размалывания и транспортирования строительных материалов, при наработке сухого грунта, приготовлении бетона и раствора, составлении красок для малярных работ, пескоструйной очистке фасадов, применении пека, а также при механической обработке металла и пластмасс.

Содержание пыли измеряют в миллиграммах на 1 м<sup>3</sup> воздуха. Наиболее вредна мелкая пыль размерами частиц до 10 мк, так как она, незадерживаясь в верхних дыхательных путях, проникает в легкие и вызывает их заболевания различными видами пневмокониоза (силикоз, асбестоз). Пыль более крупная задерживается на слизистых оболочках верхних дыхательных путей и оказывает раздражающее действие, вызывая хронические катары бронхов. Кроме того, при длительном пребывании в пыльной зоне у человека возникают заболевания кожи, ушей и глаз.

Процесс дробления кусков материала в дробильных машинах происходит с образованием мелкодисперсных частиц. Кроме того, поступающие в дробилки материалы также содержат мелкие пылевидные фракции, образовавшиеся в результате разрушения горной породы взрывом в карьере, а также от истирания при перегрузках и транспортировании. Воздушные потоки, возникающие от движения рабочих органов дробилок и свободного движения кусков материала, увлекают с собой мелкодисперсные фракции, выносят их в окружающую зону промышленного помещения, создают неблагоприятные условия для обслуживающего персонала.

Формирование воздушных потоков в валковых дробилках происходит подобно формированию воздушных потоков в центробежных вентиляторах при быстром вращении роторов. Скорости выхода воздуха достигают 7 м/с.

По технологическому циклу сопрягается дробильное оборудование с перегрузочными устройствами — течками, воронками, бункерами, конвейерами, в которые материал перемещается самотеком под действием гравитационных сил. Движущийся материал увлекает воздух, который нагнетается в технологические емкости, создавая в них избыточное давление.

Для защиты производственного помещения от выброса пыли применяют герметические укрытия оборудования, течек, мест пересыпки.

К укрытиям предъявляются следующие требования: их форма должна соответствовать аэродинамике пылевоздушных потоков; объемы укрытия должны быть оптимальными (завышенные объемы требуют повышенного отсоса пылевоздушной смеси, а малый объем снижает эффективность аспирации и способствует пылевыделению вследствие больших скоростей движения в них воздуха); укрытия конструкции должны быть просторными и обеспечивать свободный доступ к рабочим местам оборудования.

Гигиеническое нормирование регламентирует ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Общие санитарно гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» (с Изменением N 1, принятым в июне 2000 г. (ИУС 9-2000)).

Пылеотсасывающая вентиляция-аспирация должна обеспечивать поддержание в укрытиях некоторого разрежения, значение которого является определяющей для предупреждения выброса пыли .

Шум.

Дробление материалов в дробилках и дробильных установках связано со значительным шумообразованием, возникающим при расколе кусков и вибрации деталей от импульсных воздействий усилии дробления

Шум определяют как совокупность аperiодических звуков различной интенсивности и частоты. Окружающие человека шумы имеют разную интенсивность: разговорная речь – 50...60 дБА, автосирена – 100 дБА, шум

двигателя легкового автомобиля – 80 дБА, громкая музыка – 70 дБА, шум от движения трамвая – 70...80 дБА, шум в обычной квартире – 30...40 дБА .

Интенсивный шум на производстве способствует снижению внимания и увеличению числа ошибок при выполнении работы, исключительно сильное влияние оказывает шум на быстроту реакций, сбор информации и аналитические процессы, из-за шума снижается производительность труда и ухудшается качество работы. Шум затрудняет своевременную реакцию работающих на предупредительные сигналы внутрицехового транспорта (автопогрузчиков, мостовых кранов и т. П.), что способствует возникновению несчастных случаев на производстве.

В биологическом отношении шум является заметным стрессовым фактором, способным вызвать срыв приспособительных реакций. Акустический стресс может приводить к разным проявлениям: от функциональных нарушений регуляции ЦНС до морфологически обозначенных дегенеративных деструктивных процессов в разных органах и тканях. Степень шумовой патологии зависит от интенсивности и продолжительности воздействия, функционального состояния ЦНС и, что очень важно, от индивидуальной чувствительности организма к акустическому раздражителю. Индивидуальная чувствительность к шуму составляет 4... 17 %. Считают, что повышенная чувствительность к шуму определяется сенсibilизированной вегетативной реактивностью, присущей 11 % населения. Женский и детский организм особенно чувствительны к шуму. Высокая индивидуальная чувствительность может быть одной из причин повышенной утомляемости и развития различных неврозов.

Шум оказывает влияние на весь организм человека: угнетает ЦНС, вызывает изменение скорости дыхания и пульса, способствует нарушению обмена веществ, возникновению сердечнососудистых заболеваний, гипертонической болезни, может приводить к профессиональным заболеваниям.

Шум с уровнем звукового давления до 30.. .35 дБ привычен для человека и не беспокоит его. Повышение этого уровня до 40.. .70 дБ в условиях среды обитания создает значительную нагрузку на нервную систему, вызывая

ухудшение самочувствия, и при длительном действии может быть причиной невротозов. Воздействие шума уровнем свыше 75 дБ может привести к потере слуха – профессиональной тугоухости. При действии шума высоких уровней (более 140 дБ) возможен разрыв барабанных перепонки, контузия, а при еще более высоких (более 160 дБ) и смерть .

Специфическое шумовое воздействие, сопровождающееся повреждением слухового анализатора, проявляется медленно прогрессирующим снижением слуха. У некоторых лиц серьезное шумовое повреждение слуха может наступить в первые месяцы воздействия, у других потеря слуха развивается постепенно, в течение всего периода работы на производстве. Снижение слуха на 10 дБ практически неощутимо, на 20 дБ – начинает серьезно мешать человеку, так как нарушается способность слышать важные звуковые сигналы, наступает ослабление разборчивости речи.

Оценка состояния слуховой функции базируется на количественном определении потерь слуха и производится по показателям аудиометрического исследования. Основным методом исследования слуха является тональная аудиометрия. При оценке слуховой функции определяющими приняты средние показатели порогов слуха в области восприятия речевых частот (500,1000,2000 Гц), а также потеря слухового восприятия в области 4000 Гц .

Критерием профессионального снижения слуха принят показатель средней арифметической величины снижения слуха в речевом диапазоне, равный 11 дБ и более. Помимо патологии органа слуха при воздействии шума наблюдаются отклонения в состоянии вестибулярной функции, а также общие неспецифические изменения в организме; рабочие жалуются на головные боли, головокружение, боли в области сердца, повышение артериального давления, в области желудка и желчного пузыря, изменение кислотности желудочного сока. Шум вызывает снижение функции защитных систем и общей устойчивости организма к внешним воздействиям. Нормируемые параметры шума на рабочих местах определены ГОСТ 12.1.00383 с дополнениями 1989 г. и нормами СН 2.2.4/2.1.8.56296 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории

жилой застройки». Документы дают классификацию шумов по спектру на широкополосные и тональные, а по временным характеристикам – на постоянные и непостоянные. Для нормирования постоянных шумов применяют допустимые уровни звукового давления (УЗД) в девяти октавных полосах частот в зависимости от вида производственной деятельности. Для ориентировочной оценки в качестве характеристики постоянного широкополосного шума на рабочих местах допускается принимать уровень звука (дБА), определяемый по шкале А шумомера с коррекцией низкочастотной составляющей по закону чувствительности органов слуха и приближением результатов объективных измерений к субъективному восприятию.

Непостоянные шумы делятся на колеблющиеся во времени, прерывистые и импульсные. Нормируемой характеристикой непостоянного шума является эквивалентный по энергии уровень звука (дБА).

При оценке шума допускается использовать дозу шума, так как установлена линейная зависимость доза – эффект по временному смещению порога слуха, что свидетельствует об адекватности оценки шума по энергии. Дозный подход позволяет также оценить кумуляцию шумового воздействия за рабочую смену.

Оценивать и прогнозировать потери слуха, связанные с действием производственного шума, дает возможность стандарт ИСО 1999: (1975)

Акустика – определение профессиональной экспозиции шума и оценка нарушений слуха, вызванных шумом .

Для уменьшения шумового воздействия на обслуживающий персонал рассматриваются два основных способа: снижения шума, излучаемого технологическими устройствами; борьба с проницаемостью излучаемого шума .

По первому способу выбирают оптимальную толщину стенок, усиливают изолирующие элементы, применяют эластичные соединения отдельных деталей с корпусом, устанавливают дробилки на упругих элементах, разделяют течи и трубопроводы эластичными фланцами и др.

По второму способу применяют различного вида укрытия, устанавливают, оборудование в отдельных помещениях, удаляют пульта управления.

## 5 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Технический эффект автоматизации как одного из важнейших направлений технического прогресса общественного производства проявляется в:

- повышении эксплуатационной производительности машин и оборудования за счет сокращения простоев и повышения технической производительности машин при оптимизации их загрузки;
- снижении трудовых затрат за счет уменьшения количества рабочих, обслуживающих машины;
- улучшения и оздоровления условий труда рабочих в обеспечении его безопасности за счет выполнения тяжелых и опасных операций приборами, лучшего контроля хода процесса и состояния машин;
- повышении качества продукции за счет обеспечения его контроля и соблюдения требуемых параметров и режимов процесса;
- увеличении срока службы и межремонтных циклов машин за счет создания оптимальных условий их работы;
- сокращении расхода энергии и материалов на единицу продукции за счет лучшего их использования.

Показатели технического эффекта автоматизации являются предпосылками получения экономического эффекта, являющегося обобщенным показателем народнохозяйственного эффекта автоматизации данного процесса.

Основные показатели экономической эффективности автоматизации, как и любой другой новой техники, - это себестоимость единицы продукции, капитальные вложения в машины и приборы, трудовые затраты на единицу продукции.

Эффективность автоматизации определяется в сравнении неавтоматизированным процессом или менее автоматизированным

(принятым за базовый вариант). Автоматизация технологического процесса требует дополнительных капитальных вложений в приборы и оборудование. Автоматизированный процесс сравнивается с базовым по приведенным затратам

на автоматизацию и экономическому эффекту, определяемому на годовой объем продукции, получаемой в результате внедрения автоматизации .

Решение о целесообразности создания и внедрения новой техники принимается на основе расчета экономической эффективности вариантов базовой и новой техники.

Для сравнения в качестве базового варианта принимается короткозубчатая двухвалковая дробилка СМД-175А.

### 5.1 Определение капитальных затрат

Капитальные затраты  $K$ , руб. включают в себя оптовую цену и затраты на доставку техники:

$$K = Ц \cdot K_g, \quad (91)$$

где  $Ц$  – цена техники руб.;  $K_g$ - коэффициент перехода от цены к балансовой стоимости.

$$K = 1250000 \cdot 1,09 = 1362500 \quad (92)$$

По своей сложности изготовление средств автоматики оценили ориентировочно 23000 руб., кроме того, в состав стоимости входит стоимость расхода материалов:

$$K = (1250000 + 2300) \cdot 1,09 = 1387570 \quad (93)$$

#### Определение годовой эксплуатационной производительности

Годовая эксплуатационная производительность (т/год) определяется по формуле:

$$B = v_{э.г} \cdot T_{г} \cdot K_{в}, \quad (94)$$

где  $v_{г}$  - эксплуатационная почасовая производительность техники, т/ч;

$v_{э.г} = 220 \text{ т/ч}$  ;  $v_{э.г} = 220 \text{ т/ч}$ ;  $T_{г}$ - годовой фонд времени работы дробилки,

$\frac{\text{маш.ч.}}{\text{Год}}$ ;  $K_{в}$ - коэффициент использования машины по времени:  $K_{в} = 0,75$ .

$$T_{г} = [365 - (104 + 8)] \cdot 8 = 2024 \text{ маш.ч/год} \quad (95)$$

Тогда:

$$B = 220 \cdot 2024 \cdot 0,75 = 333960 \text{ т/год} \quad (96)$$

$$B = 250 \cdot 2024 \cdot 0,75 = 379500 \text{ т/год} \quad (97)$$

$$B = 250 \cdot 2024 \cdot 0,75 = 379500 \text{ т/год} \quad (98)$$

#### Определение годовых текущих издержек потребителя

Годовые текущие издержки потребителя при использовании сменного рабочего оборудования дробилки рассчитывается по формуле:

$$C = (C_a + C_p + C_{\text{эт}} + C_3) \cdot (1 + N_p), \quad (99)$$

где  $C_a$ - амортизационные отчисления на реновацию, руб.;  $C_p$  затраты на выполнение текущих, неплановых ремонтов и техобслуживаний, руб.;  $C_{\text{эт}}$ -затраты энергоносителей, руб.;  $C_3$  - заработная плата рабочих, управляющих техникой, руб.;  $N_p$  – нормы накладных расходов, связанных с эксплуатацией строительных и дорожных машин амортизационные отчисления на реновацию:

Таблица 5– Сумма годовых текущих издержек

Показатель	Базовый вариант	Новая дробилка
1.Амортизационные отчисления на реновацию	91287,5	92967,2
2.Затраты на выполнение текущих, неплановых ремонтов и техобслуживание	17161,8	17161,8
3.Затраты на электроэнергию	2102443,8	210443,8
4.Заработная плата рабочих, управляющих техникой	324834,26	108278,08
5.Нормы накладных расходов,связанных с эксплуатацией строительных и дорожных машин	0,21	0,21
6.Общая сумма годовых текущих издержек	3068230,11	2808229,56

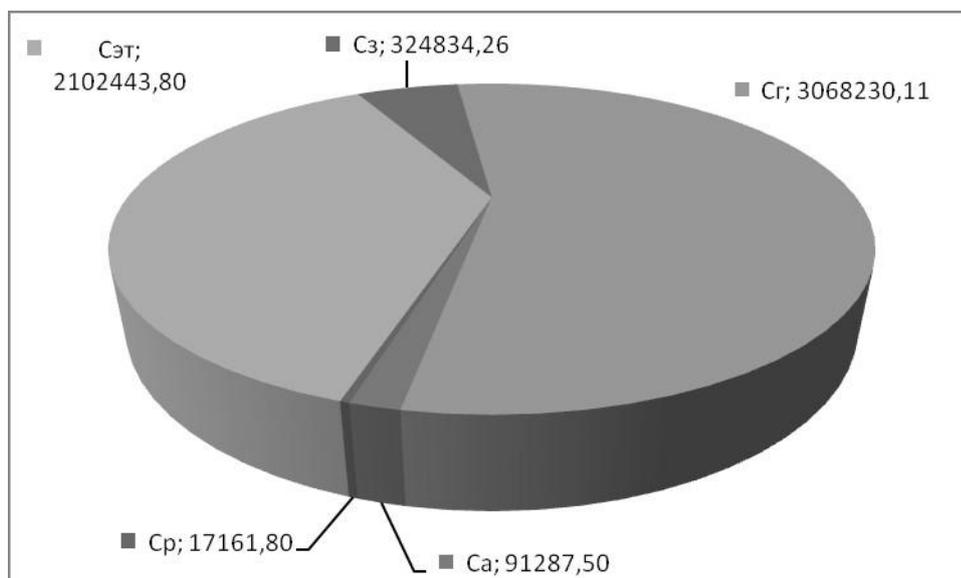


Рисунок 40 – Годовые текущие издержки базовой дробилки

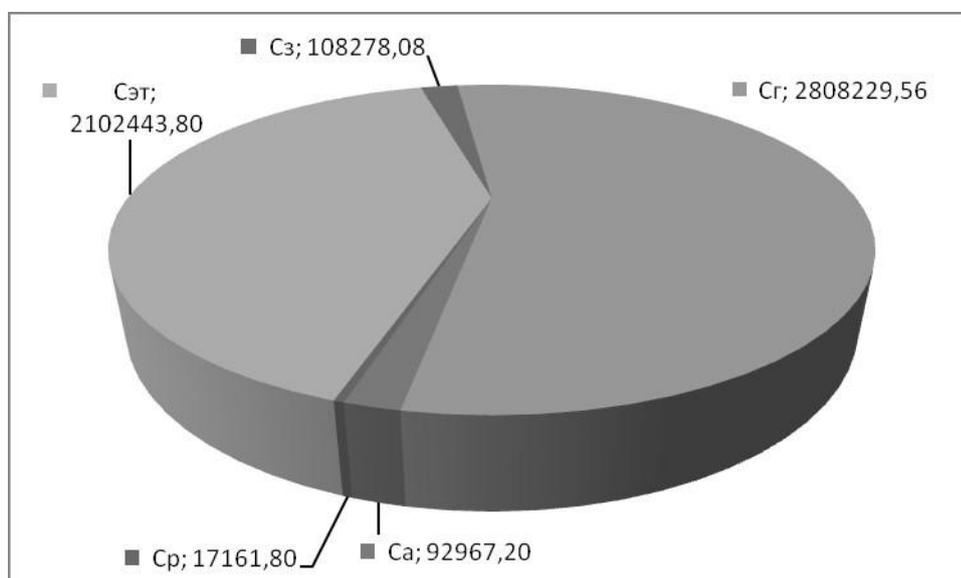


Рисунок 41 – Годовые текущие издержки модернизированной дробилки

## 5.2 Определение экономического эффекта

Экономический эффект определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_r = C_r \cdot \frac{C_r}{B} \quad (100)$$

Где  $C_r$  – годовые текущие издержки потребителя, руб ;  $B$  – годовая эксплуатационная производительность т/год.

Тогда:

$$\mathcal{E}_2 = 3068230,11 \cdot \frac{379500}{333960} - 2808229,56 = 678395,57.$$

(102)

Показатель	Базовый вариант	Новая дробилка
1. Капитальные затраты, руб	1362500	1387570
2. Годовая эксплуатационная производительность, т/год.	333960	379500
3. Годовые текущие издержки, руб	3068230,11	2808229,56
4. Годовой экономический эффект, руб	678395,57	

Таблица 6–Результаты экономического расчета

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы рассчитаны параметры двигателей дробилки, механические характеристики двигателя. Подробно описана работа короткозубчатой двухвалковой дробилки СМД-175А, разработана функциональная схема автоматизации дробилки, составлена структурная схема, определены передаточные функции звеньев и произведен анализ САУ производительности валковой дробилки. Следующим шагом проведена оптимизация системы с целью обеспечения предъявляемых к ней требований по качеству регулирования и запасов устойчивости. В процессе оптимизации получены оптимальные настройки параметров ПД-регулятора ( $k_p=114,2825$ ,  $k_d=2,4934e+005$ ). Сравнительная характеристика САУ производительности валковой дробилки приведена в таблице 4.

Из таблицы 4 видно, что САУ производительности валковой дробилки до оптимизации являлась не устойчивой и эксплуатировать такую систему нельзя. Но введение в контур управления ПД-регулятора и оптимизация параметров его настройки позволили получить нам необходимые показатели качества регулирования.

В организационноэкономическом разделе у меня получился экономический эффект от внедрения разработанной системы равный 678395,57 рублей в год. Это достигается за счет экономии текущих издержек. В разделе безопасности жизнедеятельности привел основные источники негативных факторов влияющих на оператора валковой дробилки и технические средства защиты, позволяющих ликвидировать эти влияния.

Выполнение выпускной квалификационной работы позволило закрепить большинство знаний в сфере автоматизации технологических процессов, а также в области других наук. Это помогло расширить кругозор в выборе технических средств автоматизации, производить необходимые расчеты, умение пользоваться ГОСТами и другими нормативными документами.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Программируемые логические контроллеры DirectLOGIC.–  
[http://kipservis.ru/dl\\_obzor.htm](http://kipservis.ru/dl_obzor.htm).

2 Аппаратные средства: промышленные контроллеры. Недорогие и компактные котроллеры для систем автоматизации зданий / СТА. – 2006. – №4. – С. 59.

3 Контроллеры. – <http://5ballov.ru/electronic/Контроллеры.rtf>.

4 Руководство пользователя контроллера DL06 –  
[http://plcsystems.ru/catalog/DirectLOGIC\\_2/load/D06vol1r.pdf](http://plcsystems.ru/catalog/DirectLOGIC_2/load/D06vol1r.pdf).

5 Каталог электротехнической продукции –  
[http://www.tmk2000.ru/catalog\\_37.pdf](http://www.tmk2000.ru/catalog_37.pdf).

6 Кириллов, В.Е. Методические рекомендации для студентов электротехнических специальностей для подготовки экономического раздела дипломного проекта (расчета экономического эффекта и эффективности)//  
<http://www.zb-susu.ru>.

7 Порядок обучения по охране труда и проверки знаний требований охраны труда работников организаций. Совместное постановление Министерства труда и социального развития РФ № 1 и Министерства образования от 13.01.2003 № 29.

8 Правила эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор. Минтопэнерго РФ. 2002 г. (6-е издание).

9 ПТЭ ЭП. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. Главгосэнергонадзор России от 01.07. 2003 г.

10 Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие по дипломному проектированию для студентов технических специальностей / под ред. С.Н. Трофимовой. С.П. Максимова, Т.Б. Балакина. – Челябинск: Изд-во ЮурГУ, 2005. – 55 с.

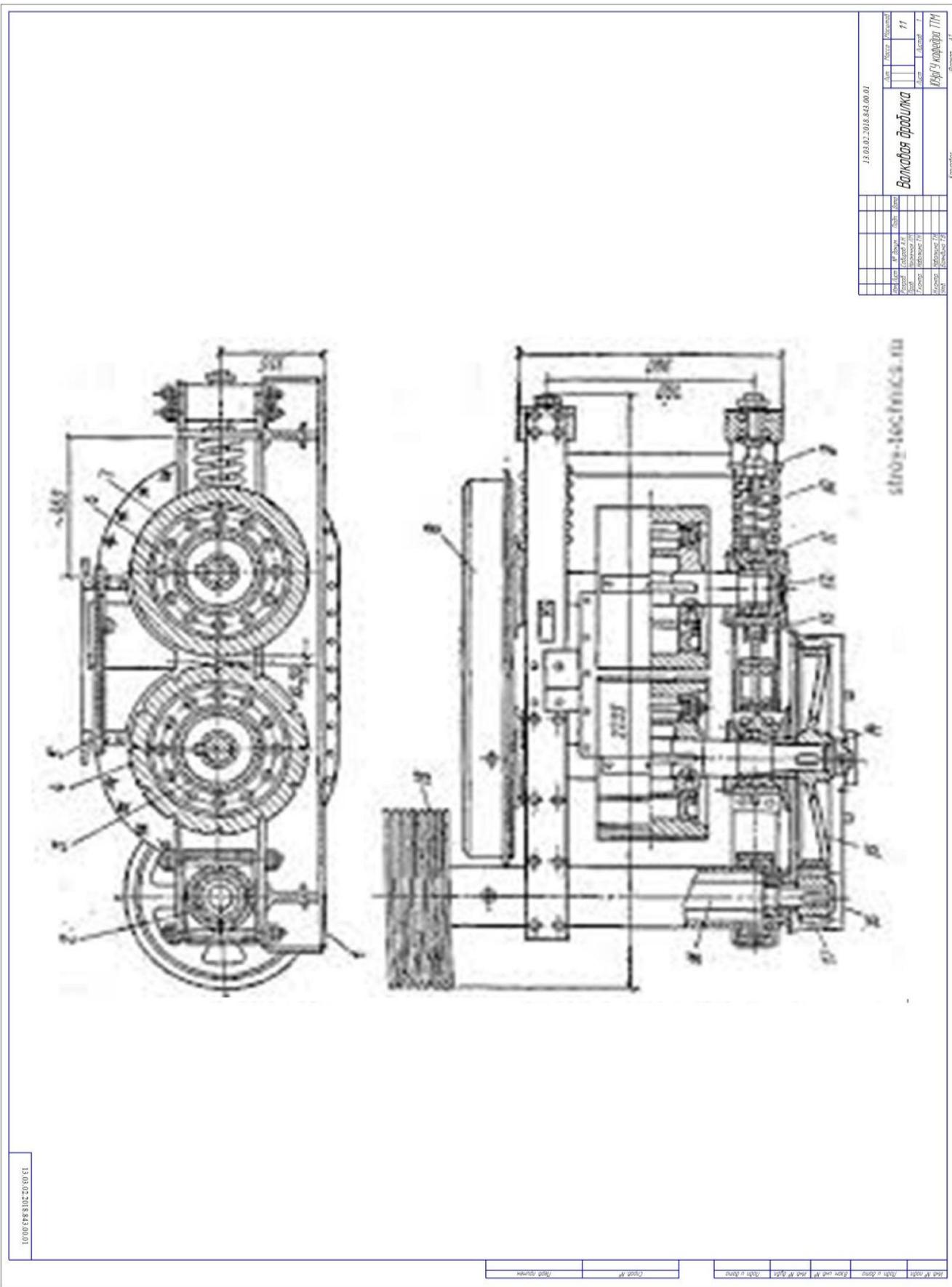
11 Усатенко, С.Т. Выполнение электрических схем по ЕСКД: справочник: в 2 ч. / С.Т. Усатенко, Т.К. Каченюк, М.В. Терехова – М.: Издательство стандартов, 1989. – Ч 1.– 325 с.

12 Усатенко, С.Т. Выполнение электрических схем по ЕСКД: справочник: 2 ч. / С.Т. Усатенко, Т.К. Каченюк, М.В. Терехова – М.: Издательство стандартов, 1989. –Ч 1. – 316 с.

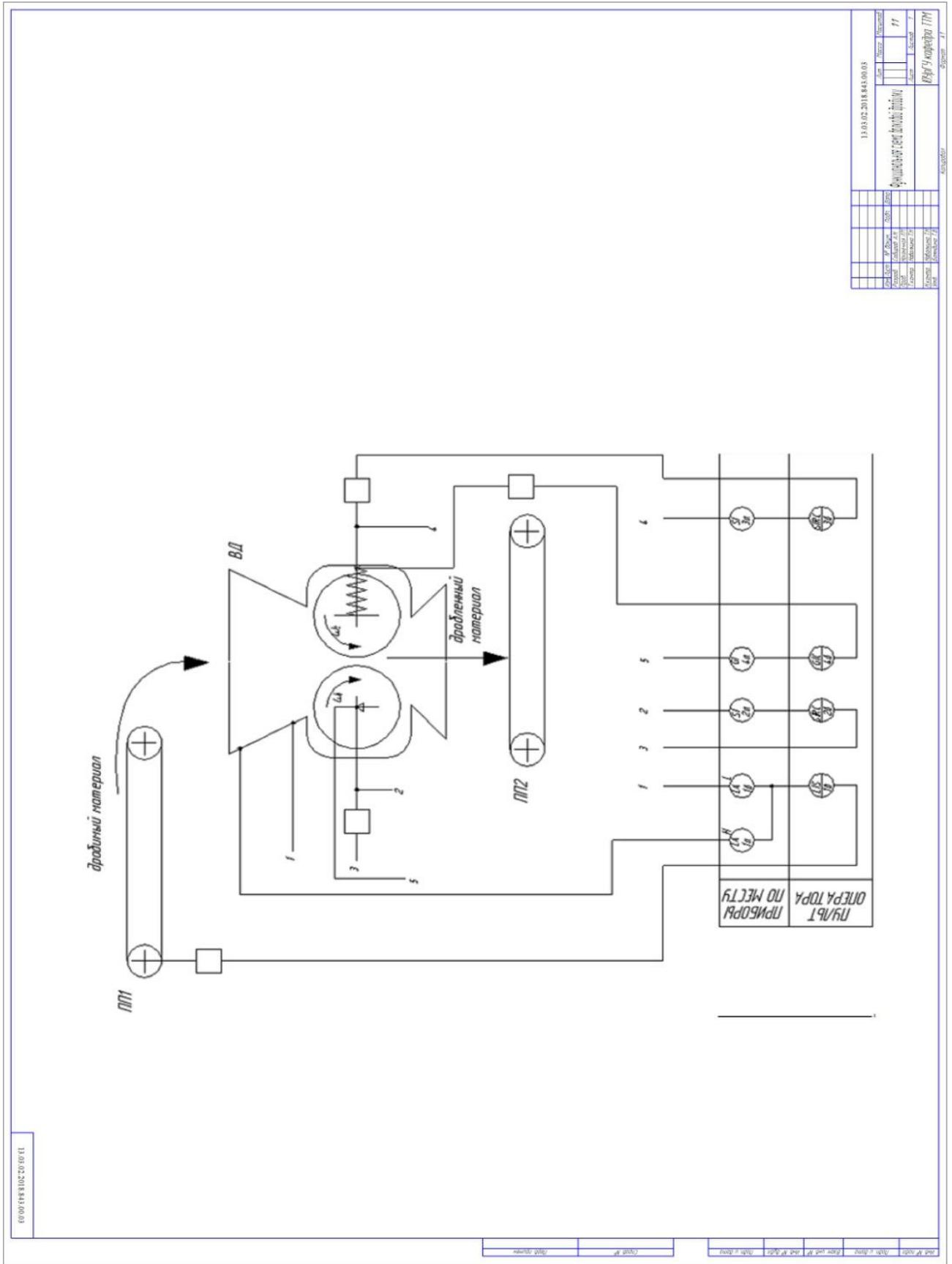
13 Трофимова, С.Н. Методические рекомендации для студентов электротехнических специальностей. Выполнение разделов «Охрана труда», «Экологическая безопасность», «Гражданская оборона» в дипломном проекте – <http://www.zb-susu.ru>.



# ПРИЛОЖЕНИЕ Б



# ПРИЛОЖЕНИЕ В





ПРИЛОЖЕНИЕ Д



Рисунок 36 – Датчик частоты вращения ДЧВ – 2 Дельта

ПРИЛОЖЕНИЕ Е



Рисунок 39 – Бесконтактный магнитострикционный первичный преобразователь  
линейного перемещения МК4 D



13.03.02.2018.843.00

*Выводы по проекту*

Для достижения поставленной цели в проекте были использованы следующие задачи:

- Подробно описана работа короткозубчатой двухвалковой дробилки.
- Разработана структурная схема.
- Разработан алгоритм работы системы автоматического управления.
- Определен экономический эффект от внедрения разработанной системы 678395,57 рублей в год.

– Рассмотрены вопросы безопасности жизнедеятельности

В целом модернизация участка дробления позволит снизить процент брака и число простоев по причине выхода из строя электрооборудования, а так же повысить общую производительность труда.

Имя	Фамилия	Инициалы	Подпись	Дата

13.03.02.2018.843.00	
Имя	Фамилия
Вывод по проекту	
Имя	Фамилия
Итого: 678395,57	
корректировка ПТУ	
Корректировка	