СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....7

1. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.....8

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАНИЯ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ.....16

2.1 Обоснование необходимости модернизации.....16

2.1.1.Потребляемая мощность при регулировании производительности направляющим аппаратом.....17

2.1.2 Потребляемая мощность при частотном регулировании.....18

2.1.3 Сопоставление показателей потребляемой энергии для регулирования с помощью направляющего аппарата и ПЧ.....19

3. ВЫБОР ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....21

3.1 Выбор преобразователя частоты.....21

3.1 Выбор датчика скорости.....23

3.1 Выбор датчика расхода.....23

4. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ РАЗРЯЖЕНИЯ ПОСРЕДСТВОМ ЧАСТОТНОГО УПРАВЛЕНИЯ.....24

4.1. Структурная схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат.....24

4.2. Синтез системы автоматического регулирования.....29

4.2.2 Настройка контура тока i1α.....31

4.2.3 Настройка контура потокосцепления.....32

4.2.4 Настройка контура момента на модульный оптиум.....34

4.2.5. Настройка контура скорости.....36

5. Обоснование структуры и расчет параметров контура производительности дымососа котла.....37

5.1 Математическая модель дымососа.....37

5.2 Математическая модель газовоздушного тракта котла.....40

5.3 Математическая модель системы дымосос – газовоздушный тракт.....42

5.3 Настройка регулятора контура производительности.....45

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....50

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....51

ВВЕДЕНИЕ

Порядка 60% электроэнергии, потребляемой предприятием приходится на электродвигатели. Самым распространенным в производстве является асинхронный двигатель. Однако ранее их регулирование было проблематично, ограничено физическими параметрами системы. Современные преобразователи позволяют значительно снизить показатели потребляемой энергии.

За счет использования аппаратного обеспечения с небольшим числом комплектующих, средств связи для оптимального внедрения в систему регулирования, частотные преобразователи позволяют сократить потери энергии и, как следствие, повысить прибыль.

В данном проекте производится модернизация нерегулируемого электропривод центробежного дымососа одностороннего вращения ДН-12,5 на базе частотного преобразователя (ПЧ) с векторным управлением.

1. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Паровой котел – устройство, преобразующее воду в пар высокого давления посредством передачи теплоты сгорания топлива с помощью специальной системы поверхностей нагрева. Расшифровка: ДВКр – двух барабанный котёл водотрубный, реконструированный. 10 – производительность пара. Измеряется в тоннах в час. 13 – давление пара. Этот показатель должен быть абсолютным. Измеряется в кгс на 1 квадратный сантиметр или в МПа. Схема котла изображена на рисунке 1.1.

Зарекомендовал себя, как устройство, отлично выполняющее функции по выработке большого количества пара при довольно низком давлении. Все котлы серии ДКВр могут работать на мазуте или газу. Котёл сконструирован так, что имеет один из самых высоких КПД – от 90 % и может работать даже в критических условиях.

Топка полностью экранирована, разделена стенкой из шамотного кирпича на собственно топку и камеру догорания. Камера догорания уменьшает потери тепла с уходящими дымовыми газами и исключает хим. недожог, а так же предотвращает затягивание факела в конвективный пучок. Между первым и вторым рядом конвективного пучка установлена шамотная перегородка, отделяющая конвективный газоход от камеры догорания.

В конвективном газоходе установлена чугунная перегородка, организующая горизонтальный разворот дымовых газов, что способствует большей отдаче тепла дымовых газов конвективным поверхностям нагрева. Обмуровка котла - тяжелая. С фронта котла установлены две газомазутные горелки «ГМГ». Для обдувки труб конвективного пучка на задней стенке котла установлен обдувочный аппарат.

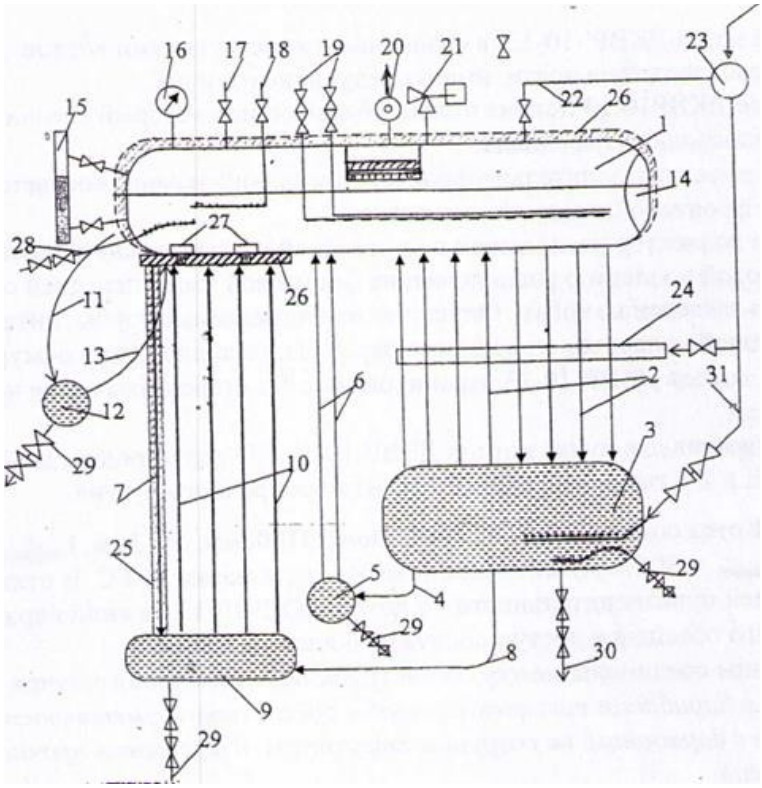

Рис.1.1 Схема ДКВр 10-13

1. Верхний барабан; 2. Опускные и подъёмные трубы конвективного пучка; 3. Нижний барабан; 4. Перепускные трубы (3 шт.); 5. Коллектор заднего экрана; 6. Трубы заднего экрана; 7. Опускные (необогреваемые) трубы; 8. Перепускная труба бокового экрана; 9. Коллектор бокового экрана; 10. Экранные трубы; 11. Опускные трубы фронтового экрана; 12. Фронтовой коллектор; 13. Подъёмные трубы фронтового экрана; 14. Лаз; 15. Указатель уровня воды (2 шт.); 16. манометр котла; 17. Воздушник; 18. Ввод химреагентов (в т. ч. моющих химреагентов); 19. Вводы питательной воды (рабочий и резервный); 20. Главный парозапорный вентиль или задвижка; 21. Предохранительные клапаны (пружинные клапаны - 2 шт.); 22. Паропровод собственных нужд котла; 23. Общий паропровод собственных нужд; 24. Центральный обдувочный аппарат; 25. Обмуровка; 26. Торкрет; 27. Легкоплавкие пробки); 28. Непрерывная продувка; 29. Периодическая продувка; 30. Трубопровод для спуска воды из котла; 31. Паропровод подачи пара на прогрев нижнего барабана.

Основные параметры котла ДКВр 10/13 приведены в Таблице 1.

Таблица 1

Параметры котла ДКВр 10/13

Наименование параметра	Значение
Тепловая мощность	10 Мвт
КПД	92%
Расход природного газа	1100 $м^3$/ч

Барабаны котлов выполнены из мало-углеродистой низко-легированной стали марки 16 ГС: - 0,16 % углерода, марганца и кремния - менее одного процента. Коллекторы выполнены диаметром -219 мм. Опускные необогреваемые трубы во фронтовой части котла - 179 мм, перепускные трубы - 76 мм.

Схема движения дымовых газов в котлах ДКВр - 10-13.

Дымовые газы, образующиеся в топке котла при сгорании топлива, отдают часть тепла экранным трубам, и через специально выполненное окно, расположенное в левой части задней стенке топки поступают в камеру догорания.В камере догорания дымовые газы движутся с права на лево, огибают первую перегородку конвективного пучка и поступают в первый газоход конвективного пучка.

В первом газоходе дымовые газы движутся с лева на право, поперечным потоком омывают трубы, отдают им своё тепло с меньшей температурой поступают во второй газоход конвективного пучка (см. схем 4 движения дымовых газов). Во втором газоходе конвективного пучка дымовые газы движутся с права на лево, поперечным потоком омывают трубы и отдав им своё тепло, с расчётной температурой выходят из котла через окно, выполненное в верхней левой части задней стенки котла.

По двум линиям вода поступает в верхний барабан, после чего сразу же через последние ряды труб конвективного пучка перемещается в нижний барабан. Котлы снабжены специальными сепарационными устройствами для выработки пара внутри барабана.

Схема подачи воды, в которой осуществляется питание боковых экранов через нижние коллекторы, повышает их эксплуатационную надежность.

Котел не требует особых условий для эксплуатации и не предъявляются повышенные требования к качеству воды.

Для обеспечения оптимальных условий для сгорания топлива необходимо поддерживать определенное соотношение концентраций топлива и воздуха. Необходимое соотношение «топливо-воздух» обеспечивается тягодутьевыми машинами котла: дутьевыми насосами и дымососами.

Дымосос – тягодутьевая машина, предназначенная для удаления из топки котла продуктов сгорания топлива, а также для поддержания в ней необходимого уровня разряжения. В отличие от дутьевого вентилятора, дымосос предназначен для работы в агрессивной среде, при высокой температуре и уровне запыленности. В связи с этим, рабочее колесо дымососа подвергается особой обработке (на лопасти рабочего колеса наплавляется слой тугоплавкого металла).

Дымосос состоит из четырех основных частей, представленных на рисунке 1.2: рабочего колеса, вал которого соединен с приводным механизмом, спирального корпуса, всасывающей воронки и направляющего аппарата. Полная схема дымососа представлена на рисунке 1.3



а) б) в)

Рис. 1.2 Составные части дымососа

а) рабочее колесо; б) направляющий аппарат со всасывающей воронкой; в) спиральный корпус

На данный момент наиболее распространенными способами регулирования давления и производительности насоса являются регулирование с помощью осевого направляющего аппарата и регулирование посредством применения всасывающего кармана с шибером.

Дымосос поставляется комплектно с приводным двигателем А200L6 климатического исполнения У2. Технические характеристики двигателя представлены в таблице 2. Аэродинамическая характеристика представлена на рисунке 1.4.

Дымосос предназначен для удаления продуктов горения из топок котельных агрегатов, оборудованных системами фильтрации золы, а также газомазутных котлов. Газовый тракт оснащен стенками увеличенной толщины выполненной из углеродистой стали. 16 лопаток одноступенчатого рабочего колеса (крыльчатки) из углеродистой стали покрыты сплавом, увеличивающим срок службы за счет повышения стойкости к абразивным золам. Температура выводимой среды не превышает 200°С. Климатическое исполнение У2. Взрывозащита отсутствует. Интервал возможных углов поворота спирального корпуса (улитки) от 0 до 270° с шагом 15°.

Таблица 2

Технические характеристики насоса ДН 12,5

Наименование	Значение
Диаметр рабочего колеса, м	1,25
Частота вращения рабочего колеса двигателя (синхронная), об/мин	1000
Типоразмер двигателя	A200L6
Установленная мощность двигателя, кВт	30
Потребляемая мощность, кВт	14
Производительность на всасывании, $м^3$/ч	26600
Полное давление, Па	155
Температура перемещаемой среды на всасывании, С	200
КПД max, %	83
Предельная запылённость перемещаемой среды, $г/м^3$	2
Предельная температура перемещаемой среды на всасывании,С	200
Габариты с э/дв, L*B*H, мм	1626*2236*2040
Масса с э/дв, кг	1150

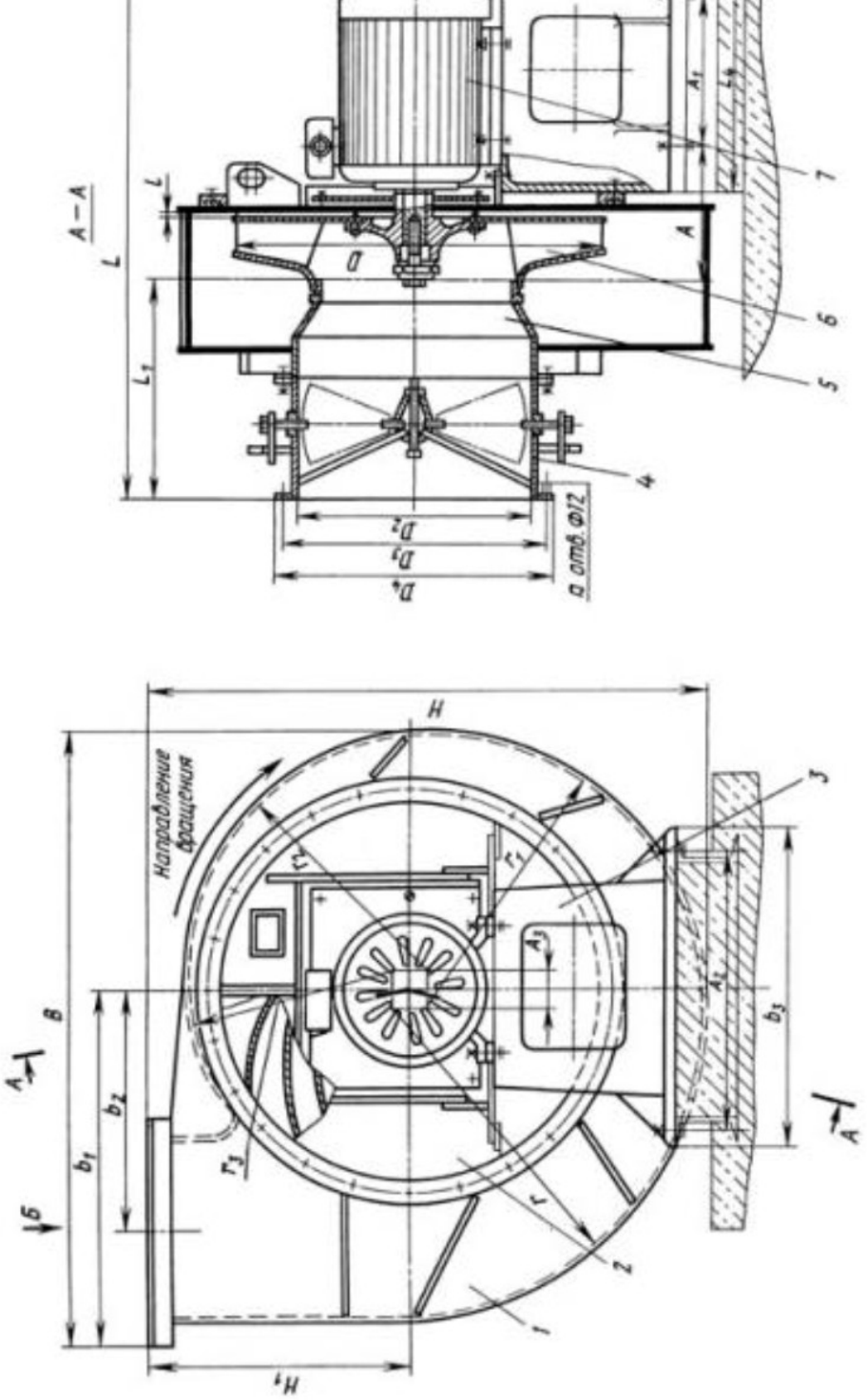

Рис.1.3 Дымосос ДН-12,5

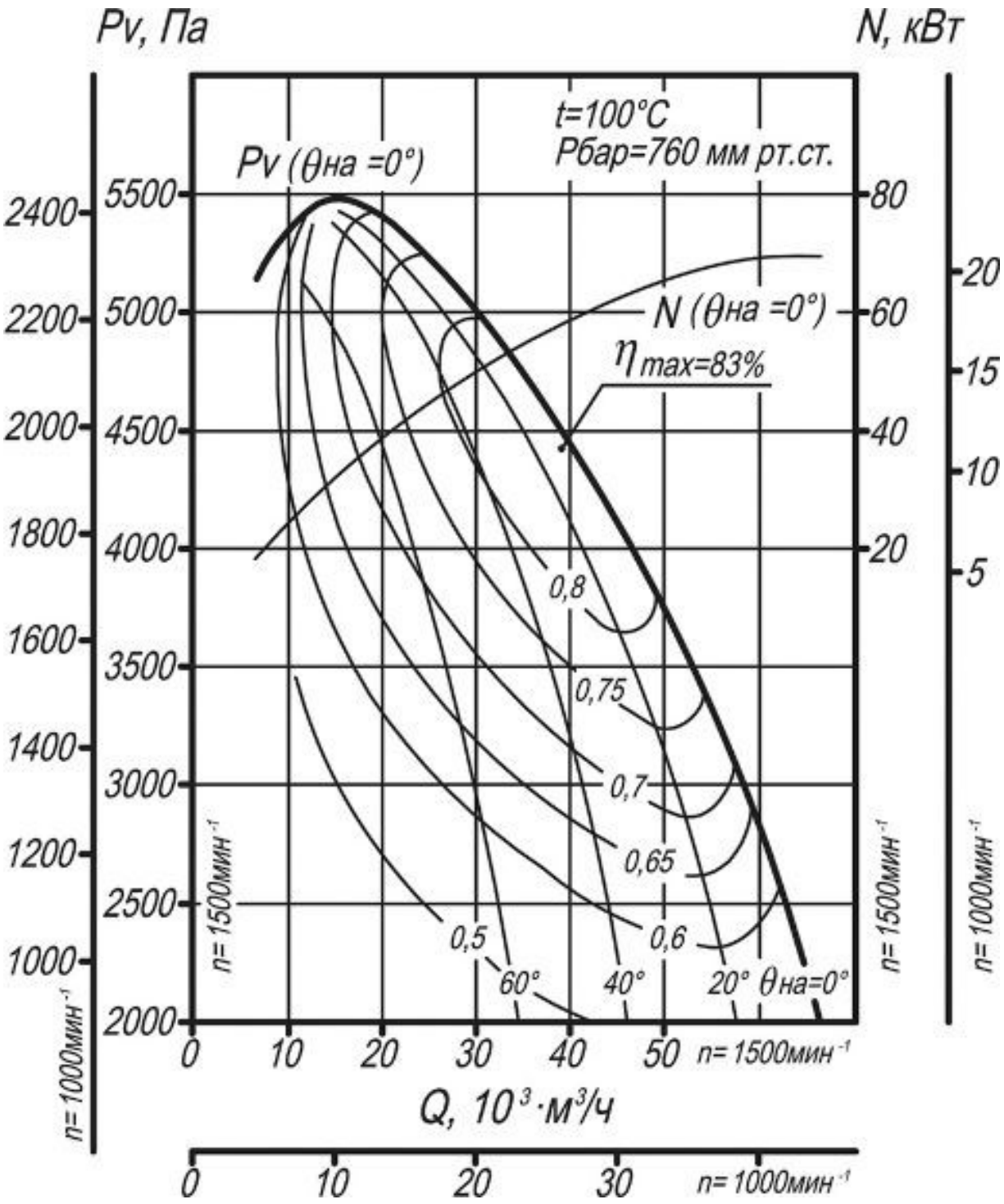

Рис.1.4 Аэродинамическая характеристика дымососа.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАНИЯ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ

В настоящий момент регулирование разряжения в топке дымососов котла №1 происходит с помощью направляющего аппарата.

Регулирование разряжения котла происходит посредством поворота лопаток направляющего аппарата, таким образом создается предварительное завихрение воздушного потока, сонаправленное движению рабочего колеса, за счет чего уменьшается сопротивление воздуха, и, как следствие, изменяется разряжение.

Данный метод регулирования имеет следующие недостатки:

- неэкономичное использование электроэнергии (по сравнению с частотным регулированием).

- малая степень автоматизации системы ведет к увеличению расходов на эксплуатацию;

- прямой пуск приводного двигателя негативно сказывается на энергосистеме (возникает бросок тока).

Внедрение частотного регулирования позволит более экономично расходовать потребляемую из сети энергию за счет возможности регулировать скорость двигателя для работы в заданных режимах технологического процесса, повысить степень автоматизации оборудования, совершать плавный пуск и останов дымососа без токовых бросков, повысить надежность системы электропривода за счет встроенных в преобразователь противоаварийных алгоритмов.

2.1 Обоснование необходимости модернизации

Необходимость модернизации электропривода вытекает из сопоставления показателей потребления электроэнергии при регулировании посредством направляющего аппарата и изменением скорости электродвигателя.

Энергетические показатели будут сравниваться при 100, 75, и 50% загрузке электропривода, таким образом будет проиллюстрировано потребление при наиболее тяжелом, нормальном, а также переходом уровне загрузки оборудования. Механическая мощность, подаваемая на рабочее колесо дымососа:

$$P_2 = P_1 * \eta_д \qquad (1)$$

где P_2 – механическая мощность двигателя;

P1 – мощность, потребляемая из сети;

$\eta_д$ – КПД двигателя.

$$P_2 = 30 * 0{,}9 = 27 \ (кВт).$$

2.1.1.Потребляемая мощность при регулировании производительности направляющим аппаратом

Из аэродинамической характеристики следует, что при максимальной загрузке (угол поворота лопаток $\Theta_{на}$ = 0°) производительность дымососа имеет значение $Q_{100\%}$ = 26,6 тыс. $м^3/ч$

Определение характеристики сети происходит исходя из соотношения $P_v = a*Q^2$ исходя из аэродинамической характеристики $Q_{100\%}$ = 26,6 тыс. $м^3/ч$ соответствует $P_{v100\%}$ = 2050 Па, таким образом:

$$a = \frac{P_{v100\%}}{Q^2_{100\%}} \qquad (2)$$

$$a = \frac{2050}{26600^2} = 2{,}9 * 10^{-6}$$

Характеристика сети представлена в таблице 3.

Таблица 3

Характеристика сети

P_v, Па	513,3	801,5	1154	1570	2050
Q,	13300	16625	19950	23275	26600

$м^3/ч$					

Переходный уровень загрузки (75%):

$$Q_{75\%} = Q_{100\%} * 0,75 = 19950\ (м^3/ч)$$

$$P_{v75\%} = 1154(Па)$$

Из аэродинамической характеристики $\Theta_{на} = 60°$.

Мощность, потребляемая дымососом:

$$P_{275\%} = \frac{P_{v75\%} * Q_{75\%}}{3600 * \eta} \quad (3)$$

$$P_2 = \frac{1154 * 19950}{3600 * 0.5} = 12,8\ кВт$$

Нормальный уровень загрузки (50%):

$Q_{50\%} = Q_{100\%} * 0,5 = 13300\ (м^3/ч)$

$P_{v50\%} = 513,3\ (Па)$

Из аэродинамической характеристики $\Theta_{на} = 80°$.

Мощность, потребляемая дымососом:

$$P_{250\%} = \frac{P_{v50\%} * Q_{50\%}}{3600 * \eta} \quad (4)$$

$$P_{250\%} = \frac{513,3 * 13300}{3600 * 0.3} = 6,32\ (кВт)$$

2.1.2 Потребляемая мощность при частотном регулировании

$$\frac{Q_{x\%}}{Q_{y\%}} = \frac{n_{x\%}}{n_{y\%}} \quad (5)$$

$$\frac{P_{2\ x\%}}{P_{2\ y\%}} = \frac{n^3_{x\%}}{n^3_{y\%}} \quad (6)$$

Мощность, потребляемая дымососом при 75% загрузки:

$$\frac{Q_{100\%}}{Q_{75\%}} = \frac{26600}{19950} = 1,33$$

$$P_{275\%} = \frac{P_{2100\%} * n^3_{100\%}}{n^3_{75\%}} = \frac{27}{1,33^3} = 11,48\,(кВт)$$

Мощность, потребляемая дымососом при 50% загрузки:

$$\frac{Q_{100\%}}{Q_{50\%}} = \frac{26600}{13300} = 2$$

$$P_{2\ 50\%} = \frac{P_{2100\%} * n^3_{100\%}}{n^3_{50\%}} = \frac{27}{2^3} = 3{,}375\,(кВт)$$

2.1.3 Сопоставление показателей потребляемой энергии для регулирования с помощью направляющего аппарата и ПЧ

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta_д} \qquad (7)$$

Потребление электроэнергии при разных способах регулирования представлено на таблице 4.

Таблица 4

Потребление электроэнергии в зависимости от способа регулирования

Способ регулирования	Направляющий аппарат	ПЧ
Загрузка	Потребляемая мощность, кВт	
100%	30	30
75%	13	11,5
50%	6,5	3,5

График, построенный на основании таблицы 4, приведён на рис.2.1. Из диаграммы на рисунке 2.1 видно, что потребление энергии дымососом с применением частотного регулирования значительно ниже, нежели чем при регулировании посредством направляющего аппарата.

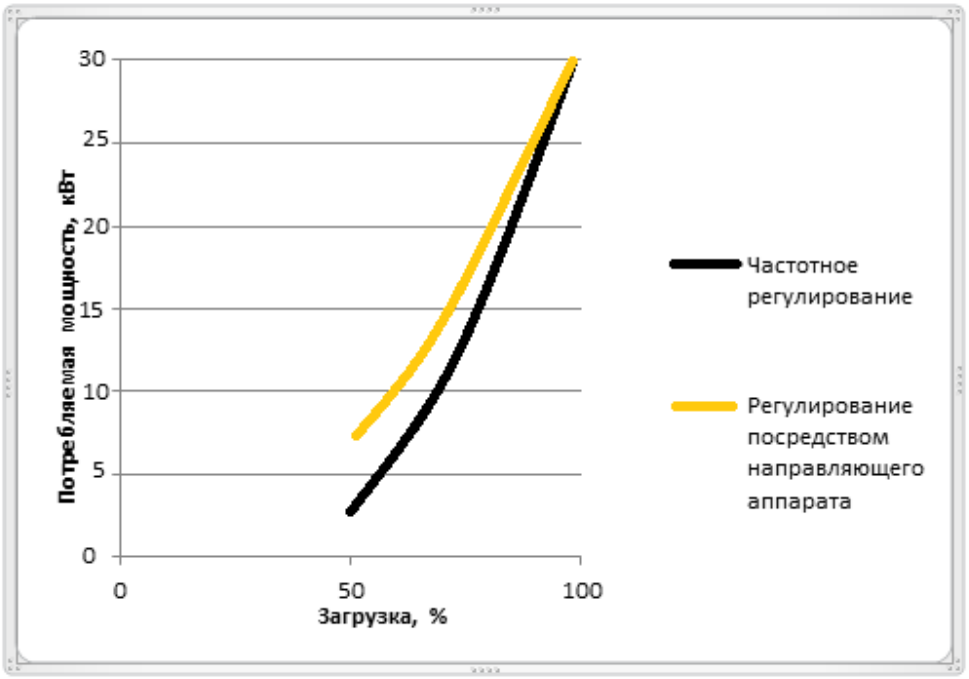

Рис.2.1 Сопоставление потребляемой приводным двигателем мощности в зависимости от способа регулирования производительности дымососа и уровня загрузки

Уровень загрузки дымососа напрямую зависит от уровня загрузки котельного агрегата, который имеет сезонный, а также зависит от метеорологической обстановки в регионе. Чем больше разница температур у земли и у вершины дымовой трубы, тем лучше ее естественная тяга, что понижает загрузку дымососа. Однако в отопительный сезон котлы работают в усиленном режиме, что повышает загрузку дымососа.

Отопительный сезон в Челябинске и Челябинской области длится в среднем 7 месяцев: с октября по апрель. Пусть загрузка в отопительный сезон будет: 75% - с 15 октября по январь, а также с марта по середину апреля, 100% - с января по март, в остальное время нагрузка дымососа будет равна 50%.

$$W = W_{100\%} + W_{75\%} + W_{50\%} = P_{100\%} * t + P_{75\%} * t + W_{50\%} * t \qquad (8)$$

Энергопотребление за год при регулировании производительности посредством направляющего аппарата:

$$W_{чр} = 400 * 59 * 24 + 170 * 123 * 24 + 50 * 183 * \ 24 \ = 1287840 \ (кВт * ч)$$

$$W_{на} = 400 * 59 * 24 + 205 * 123 * 24 + 101 * 183 * \ 24 \ = 1615152 \ (кВт * ч)$$

$$\frac{W_{чр}}{W_{на}} * 100\% = \frac{1287840}{1615152} * 100\% = 80\%$$

Таким образом, введение частотного регулирования сможет сэкономить порядка 20% электроэнергии ежегодно. Также учитывая тот факт, что реально уровень загрузки в 100% при работе не достигается, а также, что в нормальном режиме дымосос может работать с загрузкой менее 50%, при введении частотного регулирования экономия электроэнергии примет большее значение.

3. ВЫБОР ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В силу того, что современные преобразователи частоты не нуждаются в специальных двигателях, а также, учитывая, что двигатель АИР 200L6 не является морально устаревшим и поставляется комплектно с дымососом ДН-12,5, имеет с ним общую раму, необходимости в выборе нового двигателя нет.

3.1 Выбор преобразователя частоты

Выбран преобразователь частоты VACON0100-3L-0061-5-FLOW от компании VACON. Vacon (Вакон) - финский производитель преобразователей частоты для большого числа применений во всех областях промышленности и коммунального хозяйства. В настоящий момент компания Vacon выпускает преобразователи частоты на широкий диапазон мощностей (от 300 Вт до 5 МВт) и напряжений (от 220 В до 690 В).

Продукты Vacon используют чистые технологии и применяются для управления частоты вращения двигателей, работающих в промышленности и строительстве, а также в электрогенераторах, использующих возобновляемую энергию.

Vacon 100 FLOW - преобразователи частоты, предназначенные для управления электродвигателями насосов мощностью до 160 кВт. Благодаря множеству встроенных специальных функций, с помощью Vacon 100 FLOW достаточно просто организовать интеллектуальную систему управления одним или несколькими насосными агрегатами.

Основные применения Vacon 100 FLOW:

- водопроводные системы;
- отопление;
- вентиляция;
- кондиционирование.

Преобразователь частоты выбран с запасом по току и мощности. Характеристики преобразователя частоты представлены в таблице 5.

Особенности и преимущества

- Быстрая и эффективная интеграция в систему за счет специальных функций для применения с насосами, вентиляторами и компрессорами.
- Увеличение срока службы преобразователя частоты и минимизация стоимости жизненного цикла благодаря использованию безэлектролитных конденсаторов цепи постоянного тока.
- Удобство пусконаладки и ввода в эксплуатацию за счет использования графической клавиатуры и мастеров настройки параметров.
- Эффективная интеграция в системы автоматизации благодаря встроенным модулям Ethernet и RS485.

Таблица 5

Технические характеристики преобразователя частоты

Артикул:	135N0858
Напряжение:	380 В
Мощность (кВт):	30
Ток, Iном. (А):	61
Выходная частота (Гц)	0.....320
Тип нагрузки:	Общепром (вентиляторы и насосы)
Степень защиты:	IP 54

3.1 Выбор датчика скорости

По скорости вращения выбран датчик угла (Энкодер) Omron E6B2 CWZ6C. Данный тип датчика является инкрементальным, такие датчики генерируют импульсный цифровой сигнал при непосредственном вращении вала. Их преимуществом являются простота и надёжность в работе, ценовая доступность.

3.1 Выбор датчика расхода

Расходомер вихревой «Ирга-РВ» предназначен для измерения расхода газов, насыщенного и перегретого пара, жидкостей (в том числе для агрессивных и криогенных сред**)**. Тем самым он идеально подходит для измерения производительности газовоздушного тракта котла.

4. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ РАЗРЯЖЕНИЯ ПОСРЕДСТВОМ ЧАСТОТНОГО УПРАВЛЕНИЯ

4.1. Структурная схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат

Основные параметры приводного двигателя АИР200L6 приведены в таблице 6.

Таблица 6

Параметры двигателя АИР200L6

Заводское обозначение электродвигателя	АИР200L6
Мощность электродвигателя, кВт	30
Синхронная скорость электродвигателя, об/мин	1000
Токовая нагрузка двигателя, А	69
Напряжение электродвигателя, В	380
КПД двигателя, %	90
Кратность пускового тока $I_{пуск}/I_{ном}$	7
Кратность пускового момента $M_{пуск}/M_{ном}$	2
Кратность максимального момента $M_{max}/M_{ном}$	2,1
Номинальное скольжение, %	2
Момент инерции ротора двигателя, кг*м^2	0,25
Критическое скольжение, %	8
Номинальный коэффициент мощности $cos\varphi_н$	0,85
Номинальный момент двигателя, Н*м	292,4
Номинальная скорость, рад/сек	102,6

Для математического описания асинхронного электродвигателя существует несколько видов структурных схем, но наиболее распространённой является схема при ориентации системы координат по вектору потокосцепления ротора. Модель построена на основании следующих уравнений [2, с. 47]:

$$i_{1\alpha} = \frac{1/r_s}{\sigma T_1} * \left(u_{1\alpha} - r_s * i_{1\alpha} + \omega_{0эл} * \sigma * T_1 * r_s * i_{1\beta} - k_2 * p * \psi_2\right) \quad (9)$$

$$i_{1\beta} = \frac{1/r_s}{\sigma T_1} * \left(u_{1\beta} - r_s * i_{1\beta} + \omega_{0эл} * \sigma * T_1 * r_s * i_{1\alpha} - k_2 * \omega_{0эл} * \psi_2\right) \quad (10)$$

$$\psi_2 = \frac{1}{p * T_2} * \left(L_m * i_{1\alpha} - \psi_2\right) \quad (11)$$

$$\omega_p = k_2 * r_r * \frac{i_{1\beta}}{\psi_2} \quad (12)$$

$$M_д = \frac{3}{2} * p_n * k_2 * \psi_2 * i_{1\beta} \quad (13)$$

$$p * \omega = \frac{\left(M_д - M_c\right)}{J} \quad (14)$$

$$T_1 = \frac{L_s}{r_s} \quad (15)$$

$$T_2 = \frac{L_r}{r_r} \quad (16)$$

$$k_2 = \frac{L_m}{L_r} \quad (17)$$

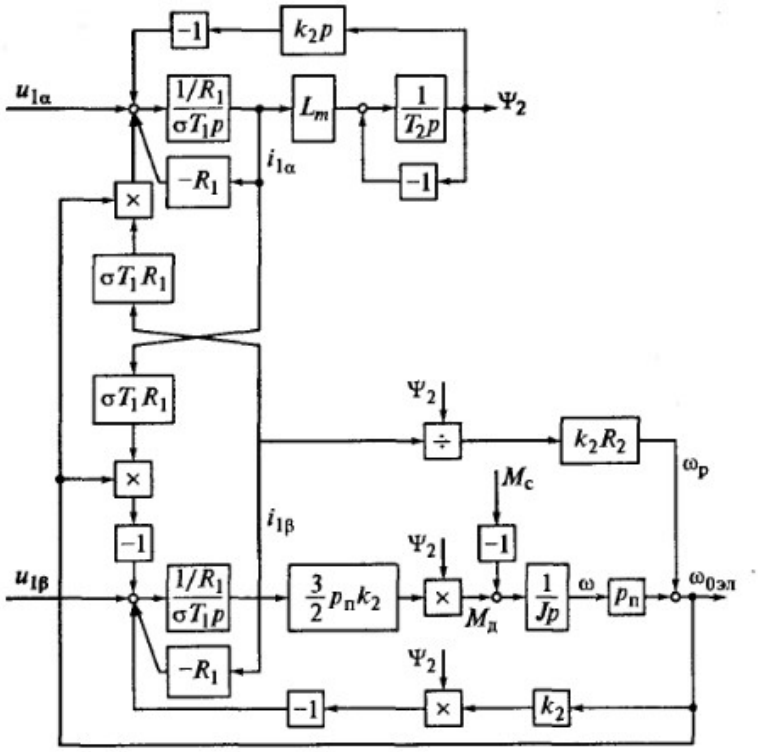

Рис.4.1 Структурная схема АД с КЗР при ориентации вращающийся системы координат по вектору потокосцепления ротора [4, с.48]

Расчет параметров двигателя, необходимых для построения мат. модели[2]:

Коэффициент b_k

$$b_k = 1 + s_n \qquad (18)$$

$$b_к = 1{,}02$$

Механические потери

$$\Delta P_m = \left(U_s * \left(\sqrt{3} * I_{1n}\right) * \ cos\varphi - P_2\right) * \left(1 + \frac{n_1^2}{1000^2}\right) * 0{,}5 \qquad (19)$$

$$\Delta P_m = \left(660 * \left(\sqrt{3} * 34{,}4\right) * \ 0{,}85 - 30000\right) * \left(1 + \frac{980^2}{1000^2}\right) * 0{,}5 =$$

$$= 1{,}7, \ кВт$$

Сопротивление обмотки статора

$$r_1 = 3 * \left(\frac{U_s}{\sqrt{3}} \right) * \frac{1 - s_n}{2 * b_k * \left(1 + \frac{b_k}{s_k} \right) * m_k * \left(P_2 + \Delta P_m \right)} \quad (20)$$

$$r_1 = 3 * \left(\frac{660}{\sqrt{3}} \right) * \frac{1 - 0{,}011}{2 * 1{,}02 * \left(1 + \frac{1{,}02}{0{,}0828} \right) * 2{,}1 * \left(30000 + 1700 \right)} = 0{,}2466 \quad , Ом$$

Сопротивление обмотки ротора

$$r_2 = \frac{\left(P_2 + \Delta P_m \right) * s_n}{3 * \left(1 - s_n \right) * I_{1n}^2} \quad (21)$$

$$r_2 = \frac{\left(30000 + 1700 \right) * 0.02}{3 * \left(1 - 0{,}02 \right) * 34{,}4^2} = 0{,}018 \ , \ Ом$$

Индуктивность обмотки статора

$$L_1 = \frac{U_s}{2 * \sqrt{3} * \pi * f_1 * I_{1n} * \left(\sqrt{1 - (cos\varphi)^2} - cos\varphi * \frac{s_n}{s_k} \right.} \quad (22)$$

$$L_1 = \frac{660}{2 * \sqrt{3} * \pi * 50 * 34{,}4 * \left(\sqrt{1 - (0{,}85)^2} - 0{,}85 * \frac{0.02}{0.0828} \right.} = 0{,}1098$$

Индуктивность рассеяния статора

$$L_{\sigma s} = \frac{\sqrt{\left(\frac{U_s}{I_{1n} * i_k * \sqrt{3}} \right)^2 - \left(r_1 + r_2 \right)^2}}{2 * \pi * f_1} \quad (23)$$

$$L_{\sigma s} = \frac{\sqrt{\left(\frac{660}{34{,}4 * 7 * \sqrt{3}} \right)^2 - \left(0{,}2466 + 0{,}018 \right)^2}}{2 * \pi * 50} = 0{,}0049 \ , \ Гн$$

Индуктивность намагничивающего контура

$$L_m = L_1 - L_{\sigma s} \quad (25)$$

$$L_m = 0{,}1098 - 0{,}0049 = 0{,}1049 \ , \ Гн$$

Коэффициент рассеяния машины

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^{\ 2}}{L_r * L_s} \qquad (25)$$

$$\sigma = 1 - \frac{0{,}1049^2}{0{,}1097 * 0{,}1097} = 0.0866$$

Момент инерции, приведенный к оси двигателя

$$J = J_д + J_{рк} \qquad (26)$$

$$J = 0{,}25 + 38 = 38{,}25, \quad кг * м^2$$

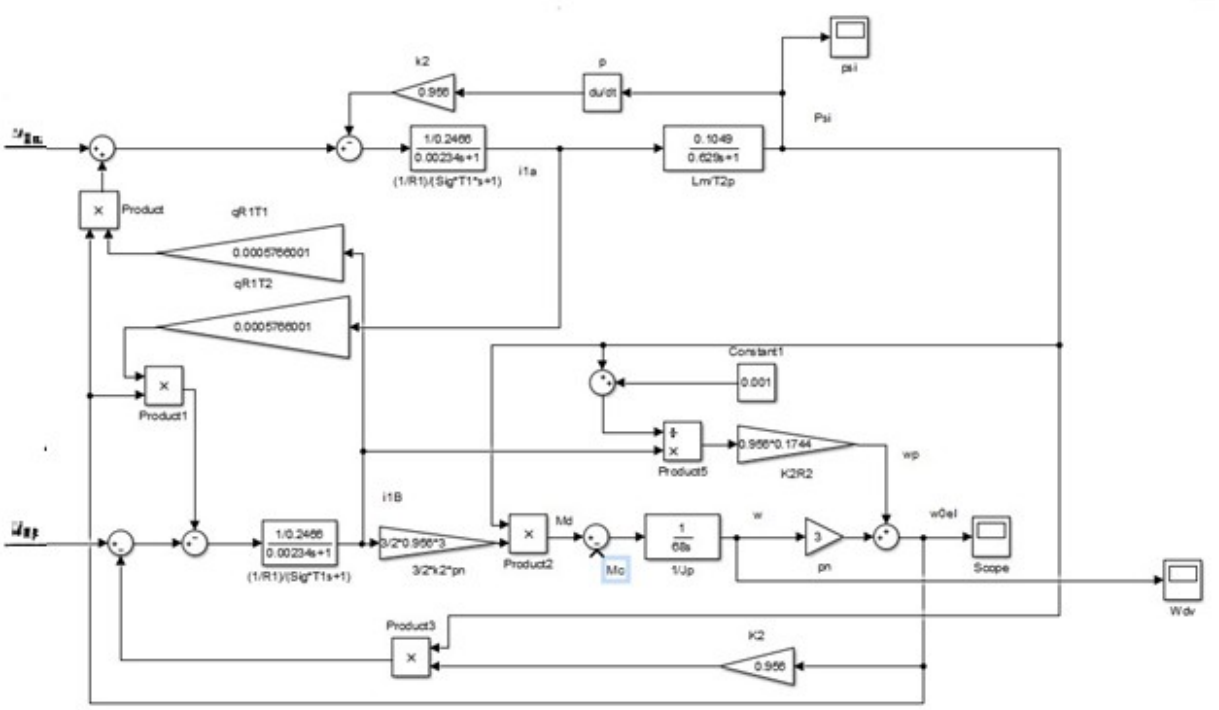

Рис.4.2 Структурная схема электродвигателя АИР200L6 при ориентации вращающийся системы координат по вектору потокосцепления ротора

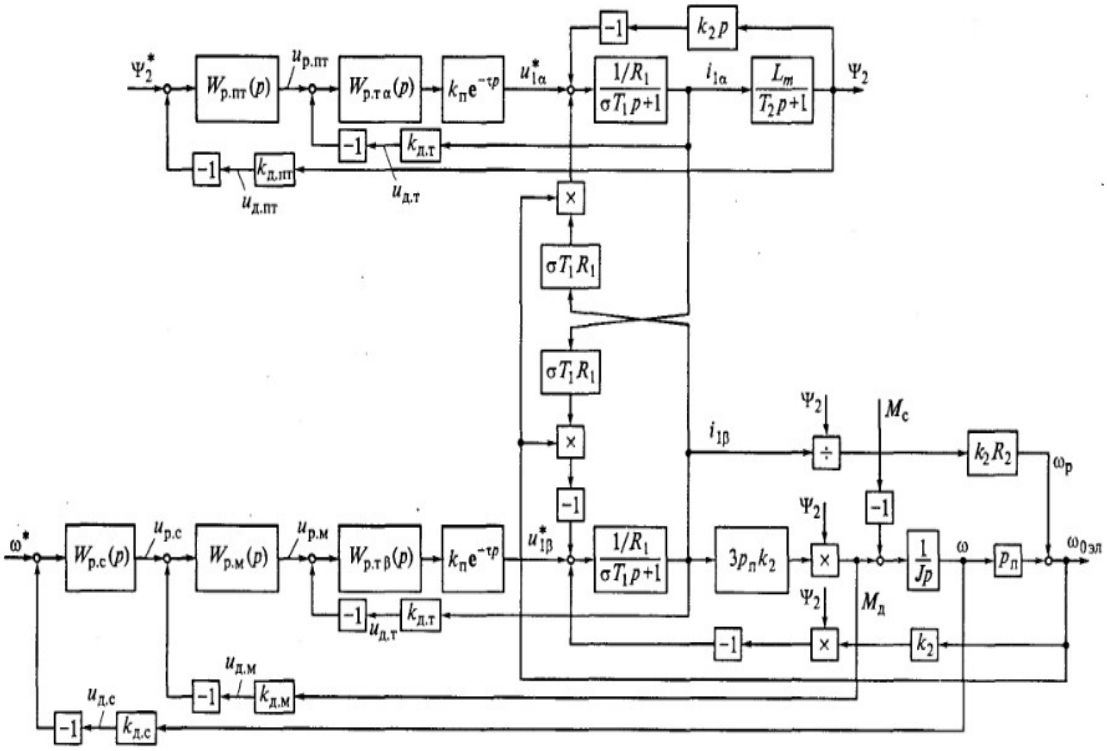

Рис. 4.3 Структурная схема регулирования скорости при векторном управлении АД в эффективных значениях переменных

4.2. Синтез системы автоматического регулирования

Принцип подчиненного регулирования является одним из наиболее распространенных на сегодняшний день, что объясняется простотой в настройке и расчетах, высокими статическими и динамическими показателями, простотой ограничения регулируемых координат. Система строится таким образном, чтобы на выходе регулятора формировалось задание для регулятора по отношению к которому этот является внешним. В каждом внешнем контуре происходит компенсация наибольших постоянных времени внутреннего по отношению к этому контура.

Недостатком системы подчиненного регулирования является относительно невысокое быстродействие, т.к. постоянная времени внешних контуров всегда будет ниже быстродействия внутренних по отношению к ним контуров, поэтому системы подчиненного регулирования редко строятся с числом контуров большим трех.

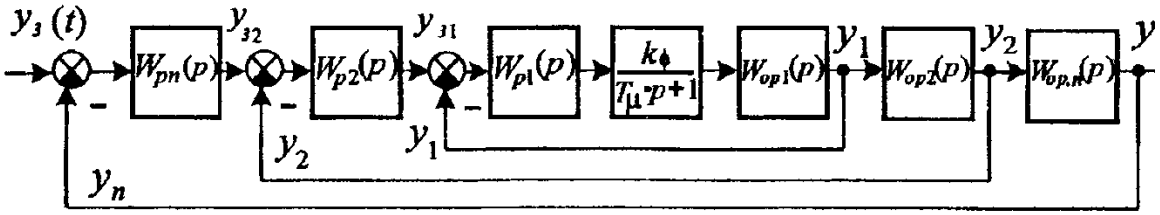

Рис.4.4 Иллюстрация реализации принципа подчиненного регулирования

В общем случае, построение таких САР заключается в следующем:

1) Объект управления представляется в виде цепочки последовательно соединенных звеньев с передаточными функциями W01 (p), W02 (p), W0n (p), выходными параметрами которых являются контролируемые

координаты объекта: напряжение, ток, скорость и т.д.

2) Количество регуляторов с передаточными функциями Wp1(p), Wp2(p), Wpn(p), в СПР устанавливается равным количеству регулируемых величин. Все регуляторы соединяются последовательно, так что выход одного является входом другого. Кроме того, на вход каждого регулятора подается отрицательная обратная связь по той переменной, которая регулируется данным регулятором. В результате этого в системе образуются как бы вложенные друг в друга контуры регулирования. Таким образом, число контуров регулирования равно количеству изменяемых координат объекта.

3) Каждый внутренний контур управления подчинен следующему по порядку внешнему контуру, т.е. выходной сигнал регулятора любого внешнего контура является задающим для последующего, заключенного в него, контура. В итоге все внутренние контуры работают как подчиненные задаче регулирования выходной координаты системы.

4) Ограничение любой координаты достигается ограничением ее задания, т.е. выходного сигнала регулятора, внешнего по отношению к рассматриваемому контуру.

5)Синтез регуляторов СПР осуществляется методом последовательной коррекции (начиная с внутреннего контура и кончая внешним).

Практически при выборе передаточной функции регулятора Wpn(p) n-ого контура стремятся решить две основные задачи:

1)Обеспечить за счет действия регулятора компенсацию наиболее существенных инерционности объекта, входящих в данных контур, и тем самым улучшить быстродействие системы;

2)Обеспечить определенный порядок астатизма данного контура за счет введения в регулятор интегрирующего звена. Настройка системы производится путем последовательной оптимизации контуров регулирования.

4.2.2 Настройка контура тока i1α

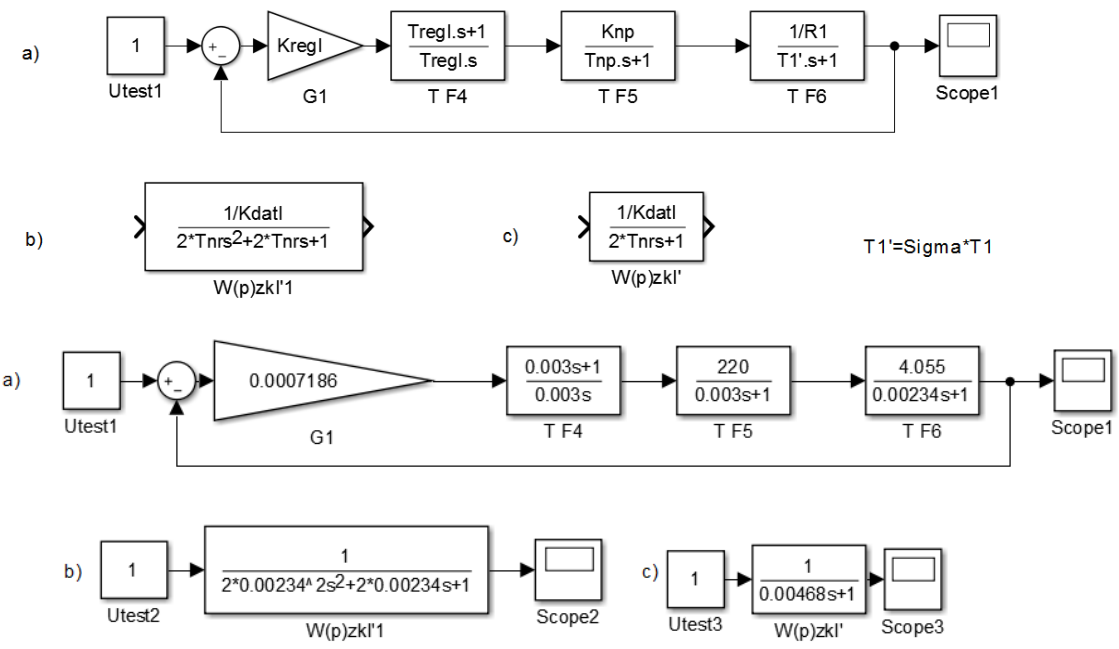

Рис.4.5 Структурная схема контура тока

$$W_p(p) = \beta * \frac{\tau_p * p + 1}{\tau_p * p} \qquad (27)$$

где τ_p – наибольшая постоянная времени

$$\beta = \frac{\tau_p}{2 * T_m * \kappa_{pc}} \qquad (28)$$

где T_m – малая постоянная времени;

κ_{pc} – коэффициент усиления разомкнутой системы.

$$\beta = \frac{0.003}{2 * 0.00234 * 220 * 4.055} = 0.0007186$$

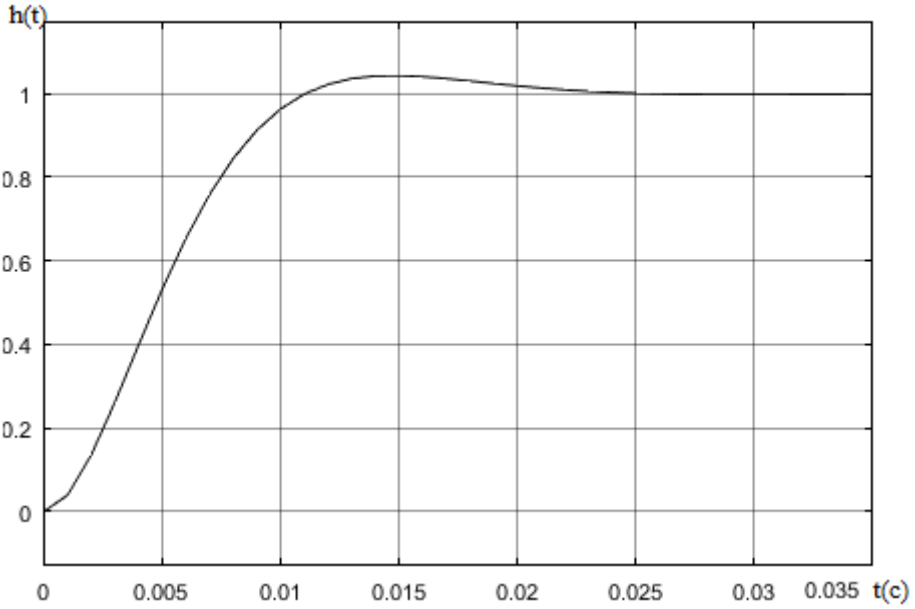

Рис.4.6 Переходная характеристика контура $i_{1\alpha}$, настроенного на оптимум по модулю

4.2.3 Настройка контура потокосцепления

Структурная схема контура потокосцепления представлена на рис.4.7.

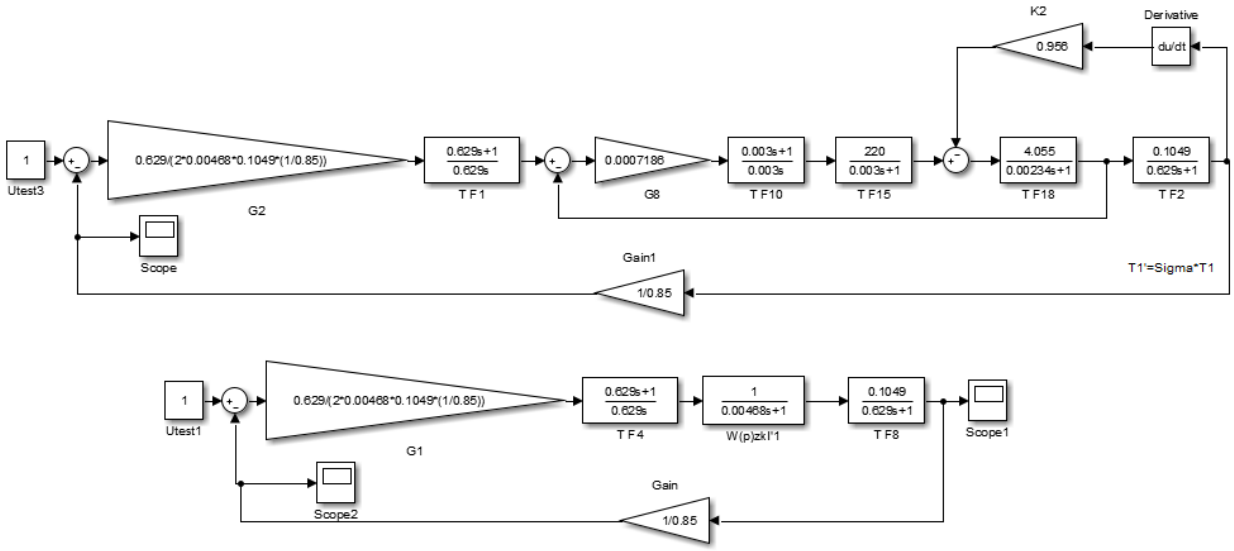

Рис.4.7 Структурная схема контура потокосцепления

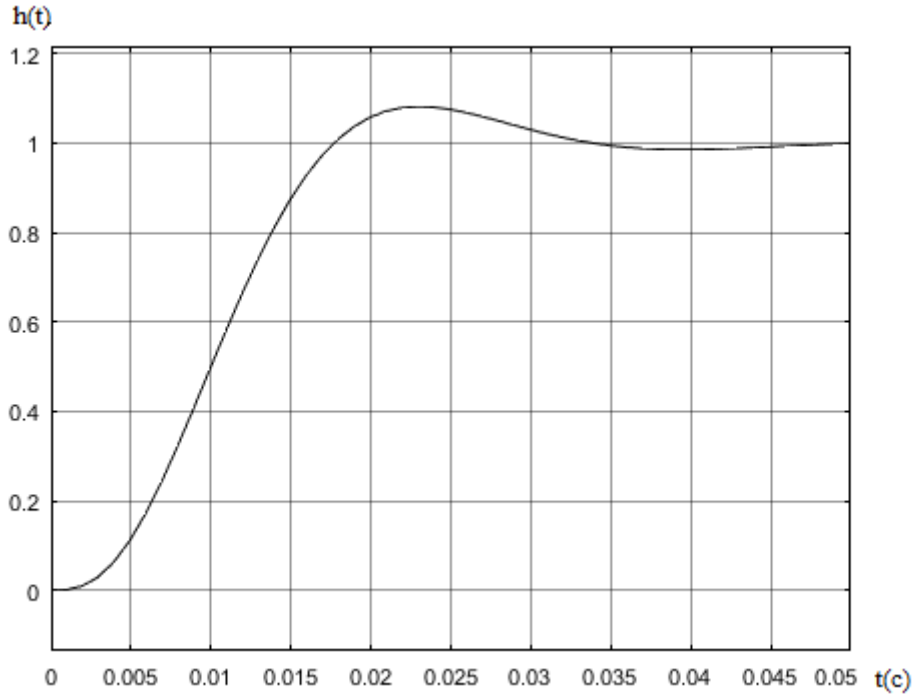

Рис.4.8 Переходная характеристика контура потокосцепления

Используем формулы (29) и (30) для расчета параметров регулятора

$$W_p(p) = \beta 1 * \frac{\tau_p * p + 1}{\tau_p * p} \qquad (29)$$

где τ_p – наибольшая постоянная времени

$$\beta 1 = \frac{\tau_p}{2 * 2 * T_m * \kappa_{pc}} \qquad (30)$$

где T_m – малая постоянная времени;

$к_{рс}$ – коэффициент усиления разомкнутой системы.

$$\beta 1 = 450$$

Несмотря на то, что из-за введения ограничения время переходного процесса увеличилось, потокосцепление принимает установившееся значение, значит, его можно считать застабилизированным и постоянным, равным номинальному значению (1,3Вб)

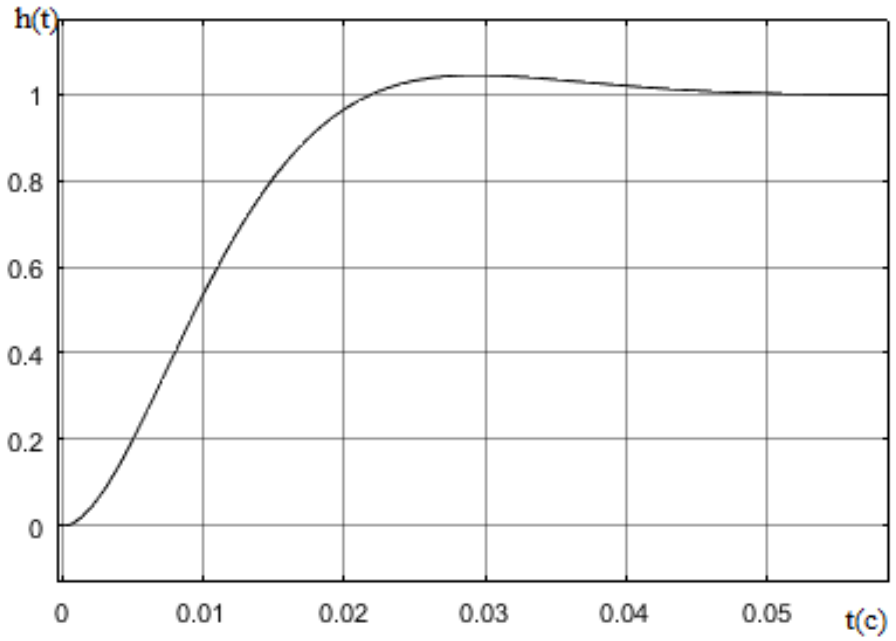

Рис. 4.10 - Переходная характеристика контура потокосцепления

4.2.4 Настройка контура момента на модульный оптиум

Структурная схема контура момента приведена на рисунке 4.11.

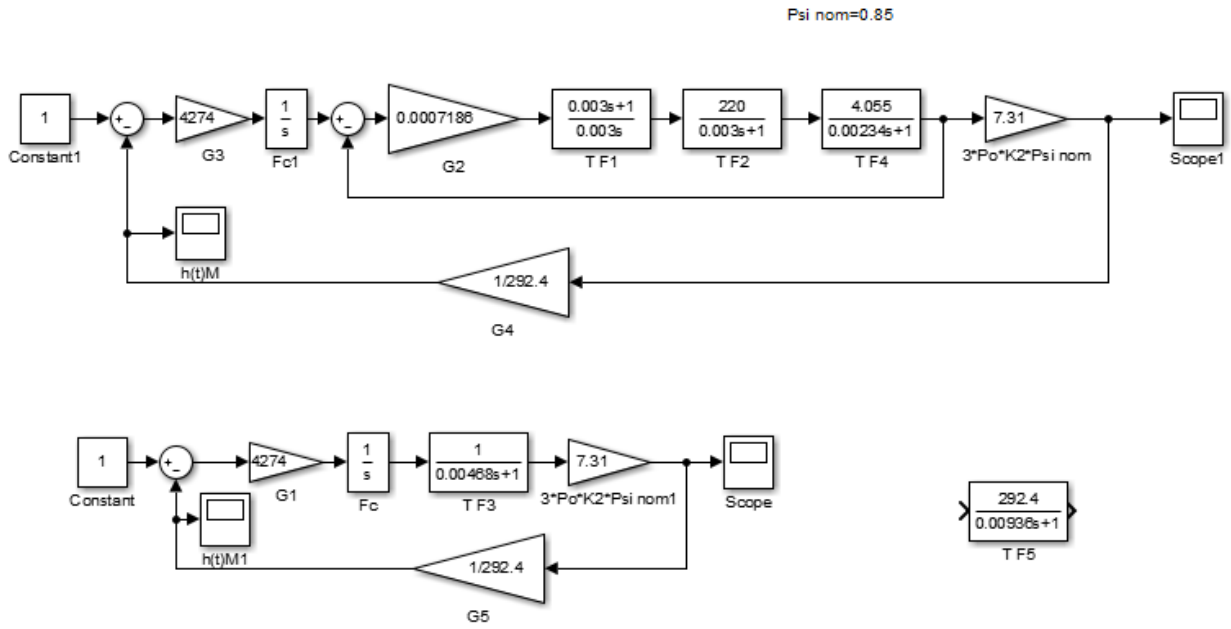

Рис.4.11 Структурная схема контура момента

$$W_p(p) = \beta 2 * \frac{\tau_p * p + 1}{\tau_p * p} \qquad (31)$$

где τ_p – наибольшая постоянная времени

$$\beta 2 = \frac{\tau_p}{2 * T_m * \kappa_{pc}} \qquad (32)$$

где T_m – малая постоянная времени;

κ_{pc} – коэффициент усиления разомкнутой системы.

$$\beta 2 = \frac{1}{2 * 0.00468 * 7.31 * \left(\frac{1}{292.4}\right)} = 4274$$

Переходная характеристика контура момента, настроенного на модульный оптимум приведена на рисунке 4.12.

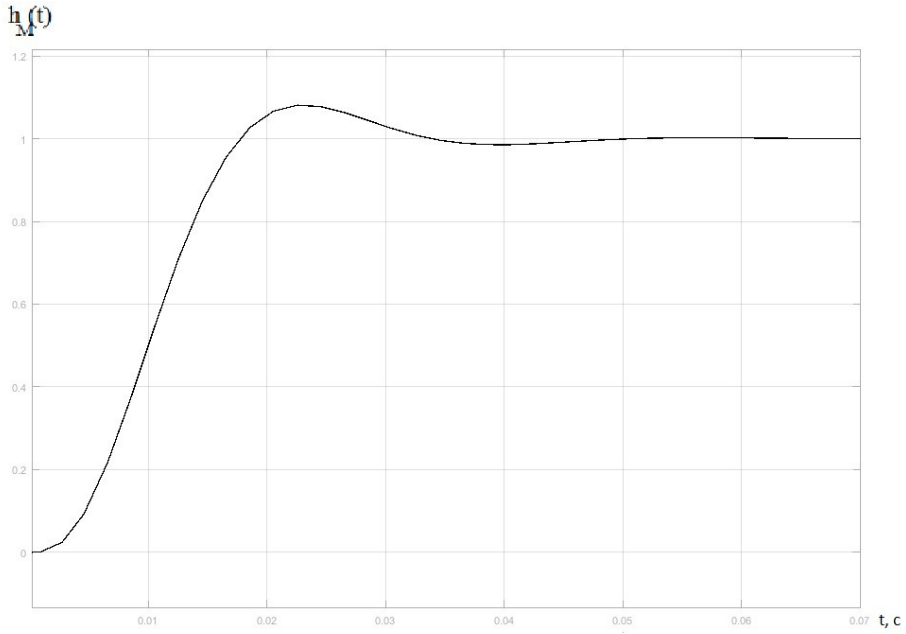

Рис.4.12 Переходная характеристика контура момента, настроенного на модульный оптимум.

4.2.5. Настройка контура скорости

Структурная схема контура скорости приведена на рисунке 4.13.

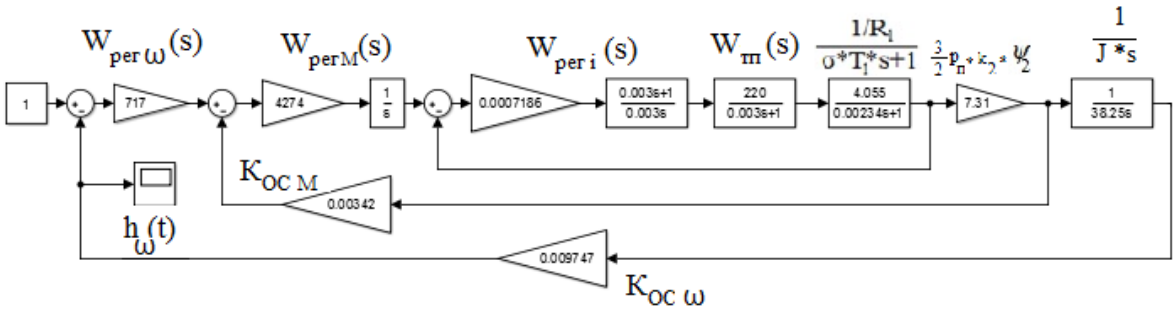

Рис.4.13 Структурная схема контура скорости

$$W_p(p) = \beta_3 * \frac{\tau * p + 1}{\tau * p} \qquad (33)$$

где Wp – передаточная функция регулятора;

β_3 – коэффициент усиления регулятора;

$\tau = 4 * T_m$ – четыре малые постоянные времени.

$$\tau = 0.014$$

$$\beta_3 = \frac{J}{2 * T_m * \kappa_{pc}} \qquad (34)$$

$$\beta_3 = 717$$

где J – момент инерции;

$к_{рс}$ – коэффициент усиления разомкнутой системы.

Переходная характеристика контура скорости, настроенного на модульный оптимум представлена на рисунке 4.14

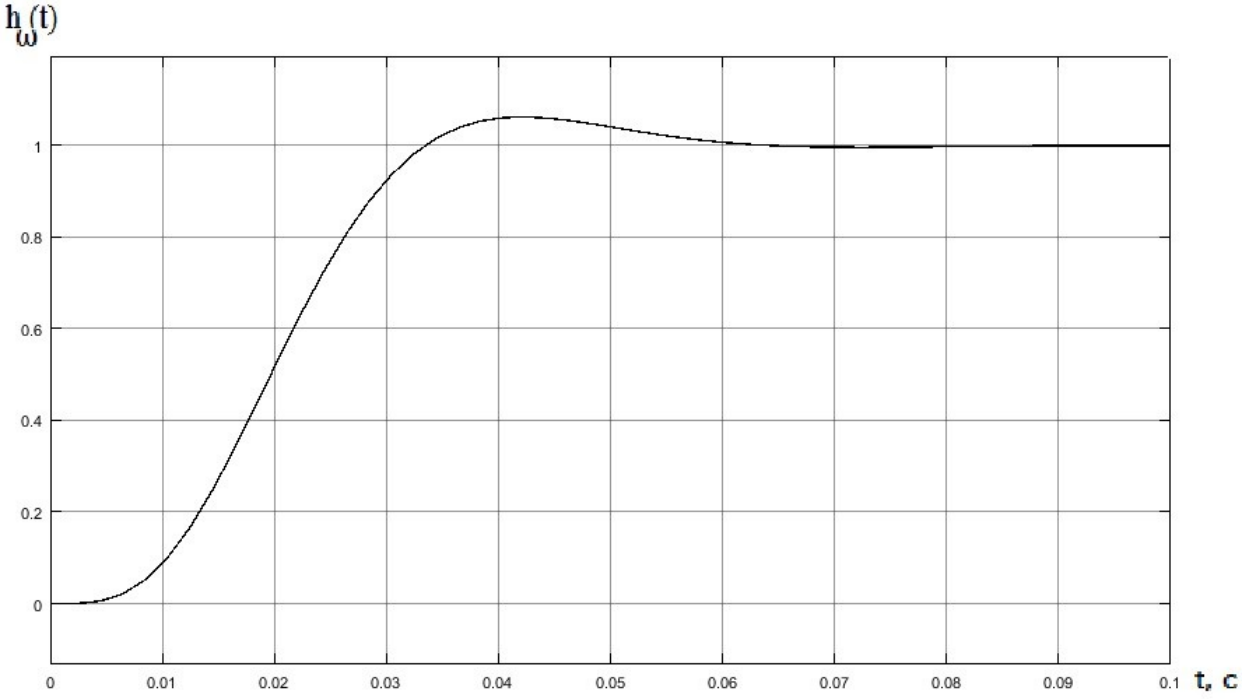

Рис.4.14 Переходная характеристика контура скорости, настроенного на модульный оптимум

5. ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ КОНТУРА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДЫМОСОСА КОТЛА

5.1 Математическая модель дымососа

Математическую модель дымососа получим из аэродинамической характеристики, при которой достигается максимальная производительность.

Данная характеристика соответствует углу поворота лопаток направляющего аппарата равному 0°. Данная характеристика изображена на рисунке 5.1

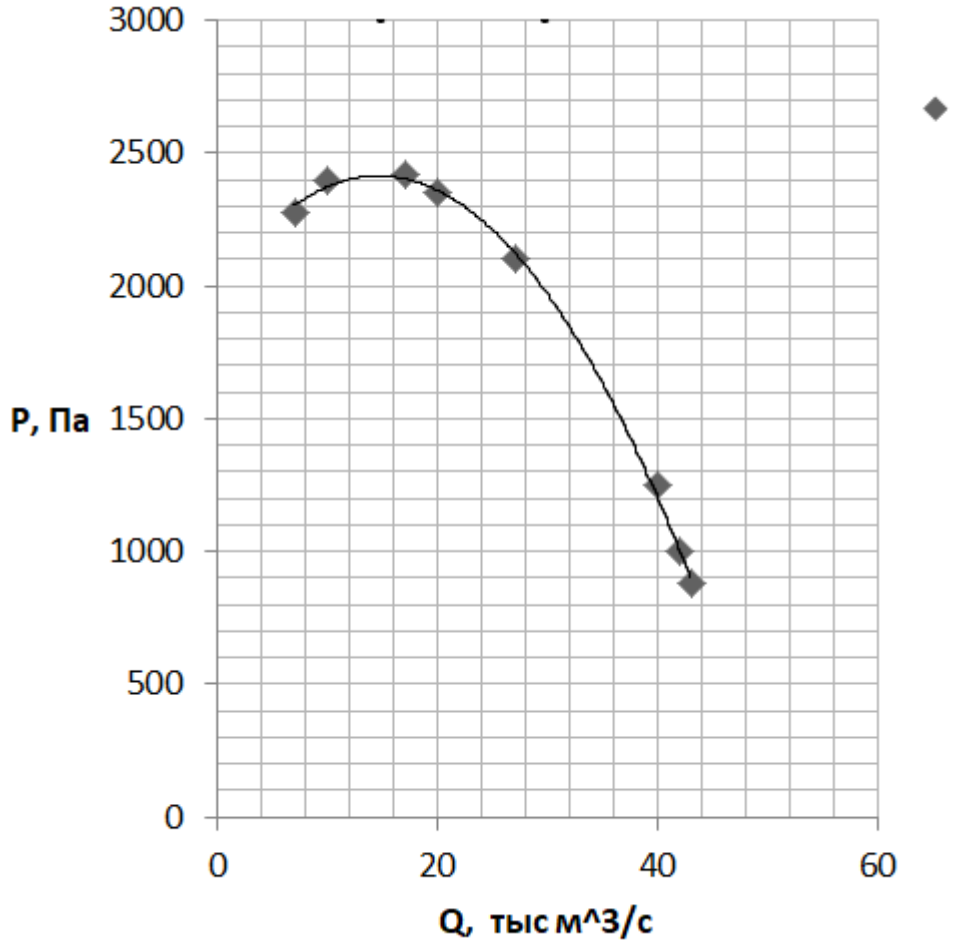

Рис. 5.1 Аэродинамическая характеристика дымососа, содержащая точку наибольшей производительности

После выстраивания характеристики по точкам, с помощью программы Microsoft Excel получено уравнение данной характеристики:

$$P = -1.4Q^2 + 28.6Q + 2108 \qquad (35)$$

Величина достоверности аппроксимации кривой R^2 = 0,995 близка к единице, что говорит о довольно точном воспроизведении кривой.

На основании уравнения () построена математическая модель (рисунок 5.2) при постоянной скорости вращения приводного двигателя, равной номинальной – 980 об/мин.

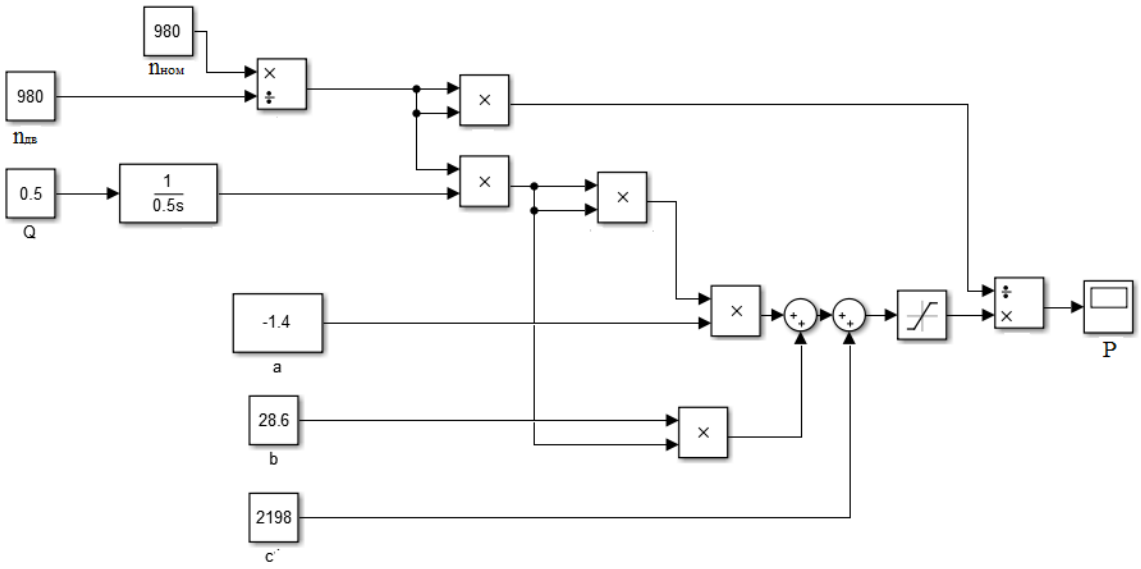

Рис. 5.2 Математическая модель дымососа при номинальной скорости вращения двигателя.

На основании законов подобия(формулы и), справедливых для тягодутьевых машин, вводим масштабирующие коэффициенты подобия. Учитывая их, получим математическую модель с разными скоростями вращения ротора (рисунок)

$$\frac{P_{v1}}{P_{v2}} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2 \qquad (36)$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \qquad (37)$$

Аэродинамические характеристики, полученные на основании модели для разных скоростей приведены на рисунке 5.3.

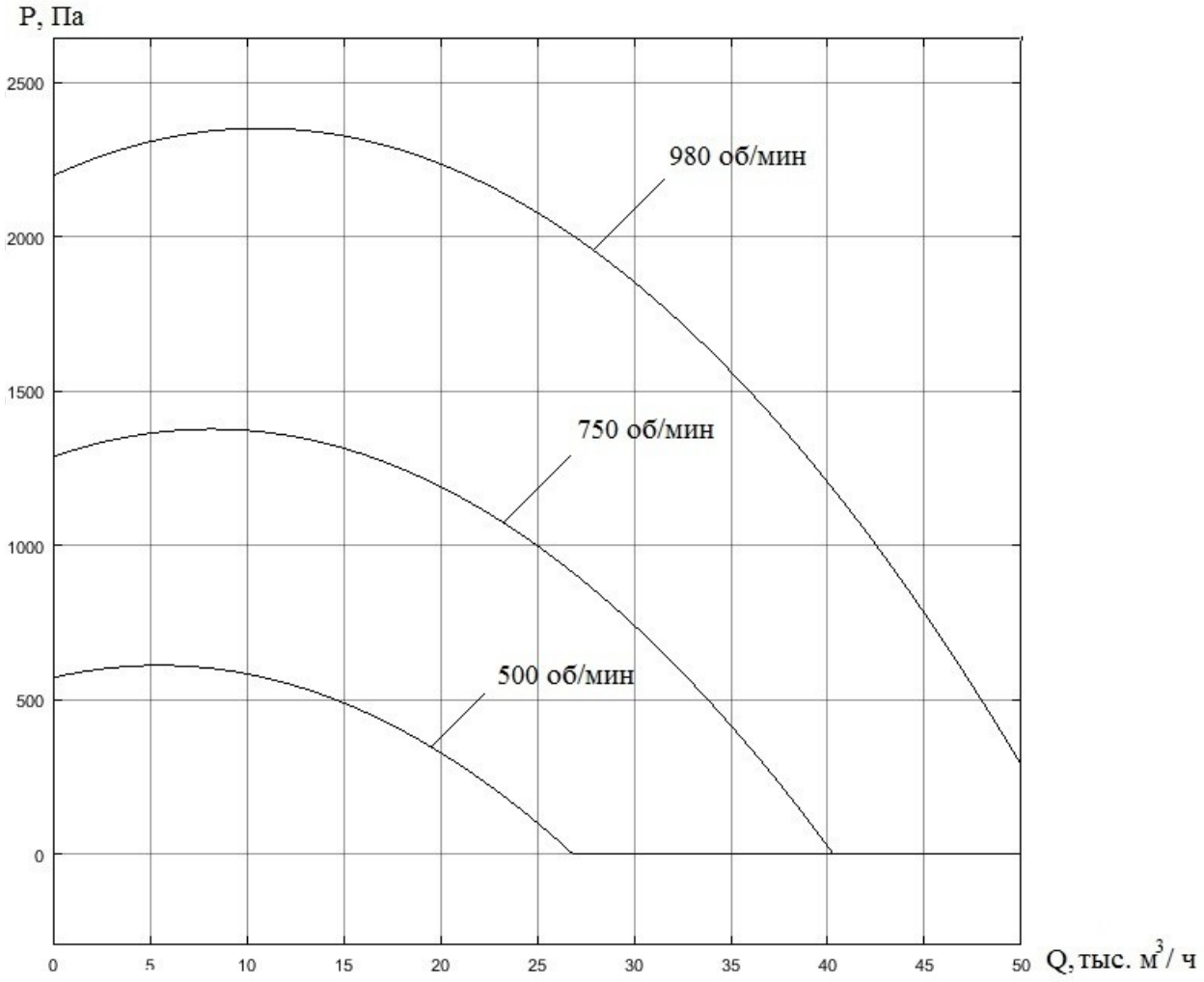

Рис. 5.3 Аэродинамические характеристики при разных скоростях двигателя

5.2 Математическая модель газовоздушного тракта котла

Газовоздушный тракт котла – весь путь от котла до выходной трубы. Он обладает определённым сопротивлением протекающему по нему потоку газовой смеси. Существует зависимость, характеризующая данное сопротивление, называемое характеристикой сети. Для газовоздушных трактов эта зависимость квадратичная:

$$P_v = aQ^2 \qquad (38)$$

Ранее рассчитан коэффициент пропорциональности характеристики сети:

$A = 4.2$ Па*с^2/(тыс. м^3)^2.

Газовоздушный тракт будет иметь математическую модель описываемую квадратичной зависимостью, однако ввиду сжимаемости переносимой среды будет существовать задержка между изменением производительности тракта и изменением давления в нем, поэтому необходимо ввести инерционное звено в систему.

Для проверки созданной в программе системы наложим на аэродинамическую характеристику характеристику сети. Как видно из рисунка 5.4, рабочая точка, полученная пересечением графиков близка к номинальной точке дымососа.

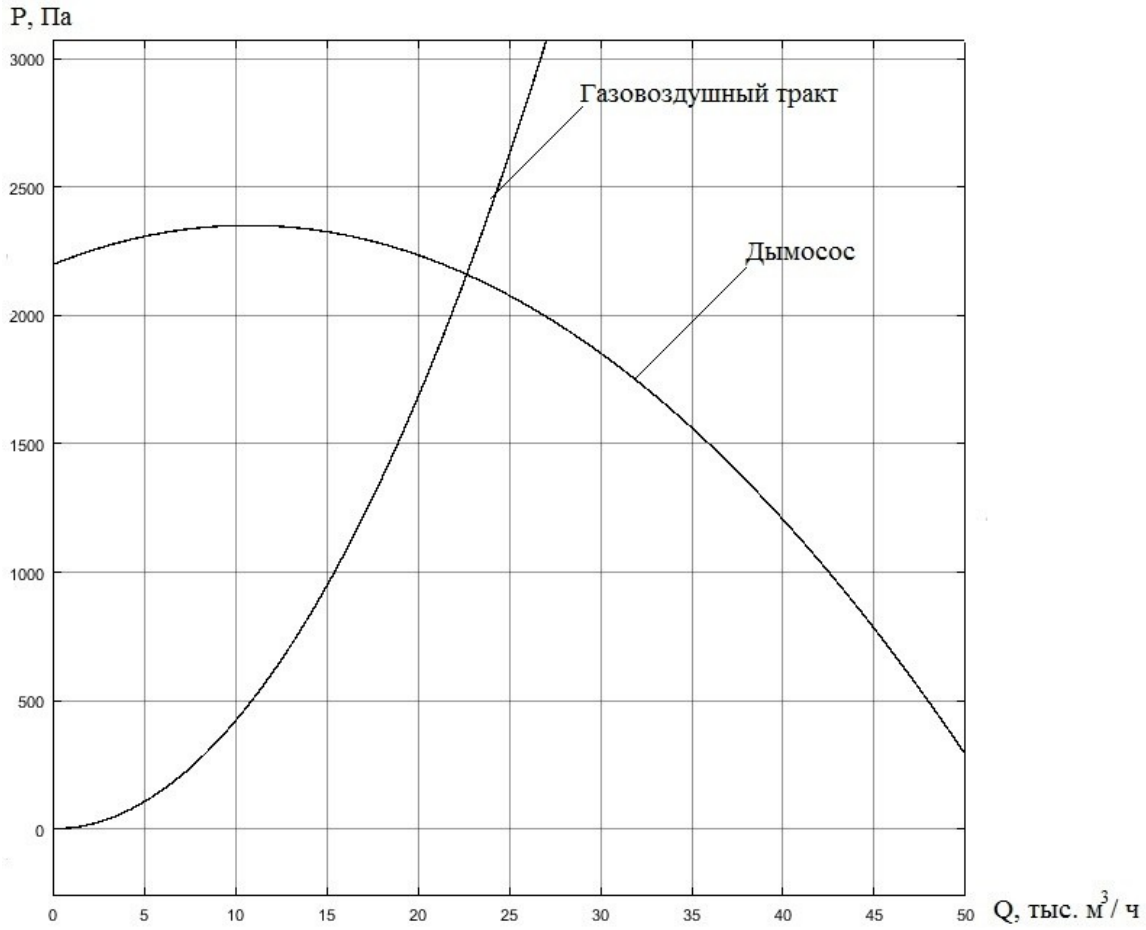

Рис. 5.4 Характеристика сети и аэродинамическая характеристика дымососа при номинальной скорости вращения приводного двигателя

5.3 Математическая модель системы дымосос – газовоздушный тракт

Математическая модель системы дымосос – газовоздушный тракт представлена на рисунке 5.5.

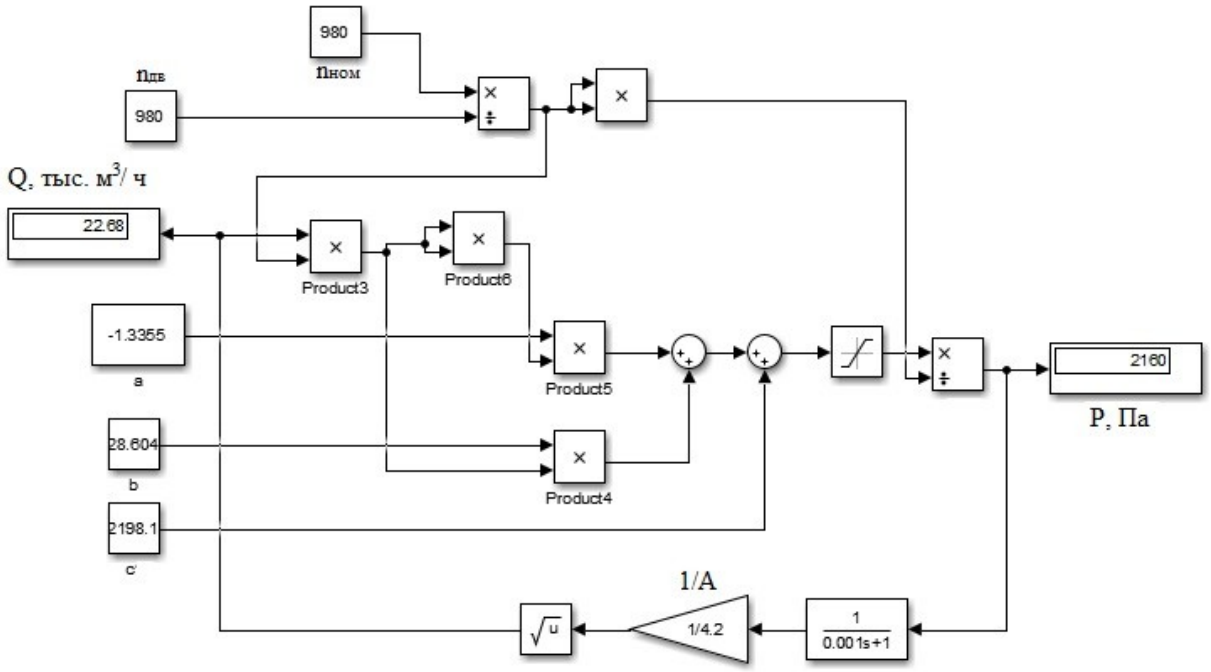

Рис. 5.5 Математическая модель системы дымосос – газовоздушный тракт

Для построения данной модели математическая модель тракта была переработана в соответствии с уравнением (): теперь в качестве входа модели тракта служит сигнал дифференциального давления, на выходе получается сигнал производительности.

Для построения контура производительности необходимо провести идентификацию модели, в связи с этим необходимо определить поведение системы при изменении скорости. Для проведения идентификации модели в схему добавлено идентификационное звено двигателя. Разгон двигателя осуществляется в четыре ступени начиная со скорости 250 об/мин.

Математическая модель используемая для идентификации изображена на рисунке 5.6.

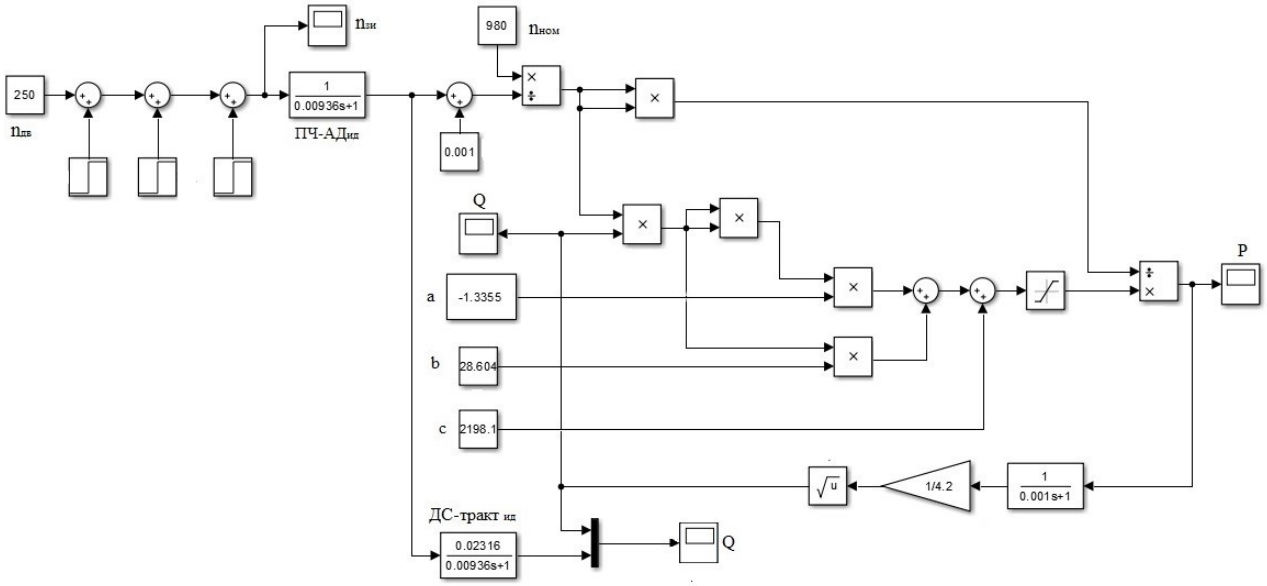

Рис. 5.6 Математическая модель используемая для идентификации системы дымосос – тракт

На рисунке 5.7 изображен график задания по скорости

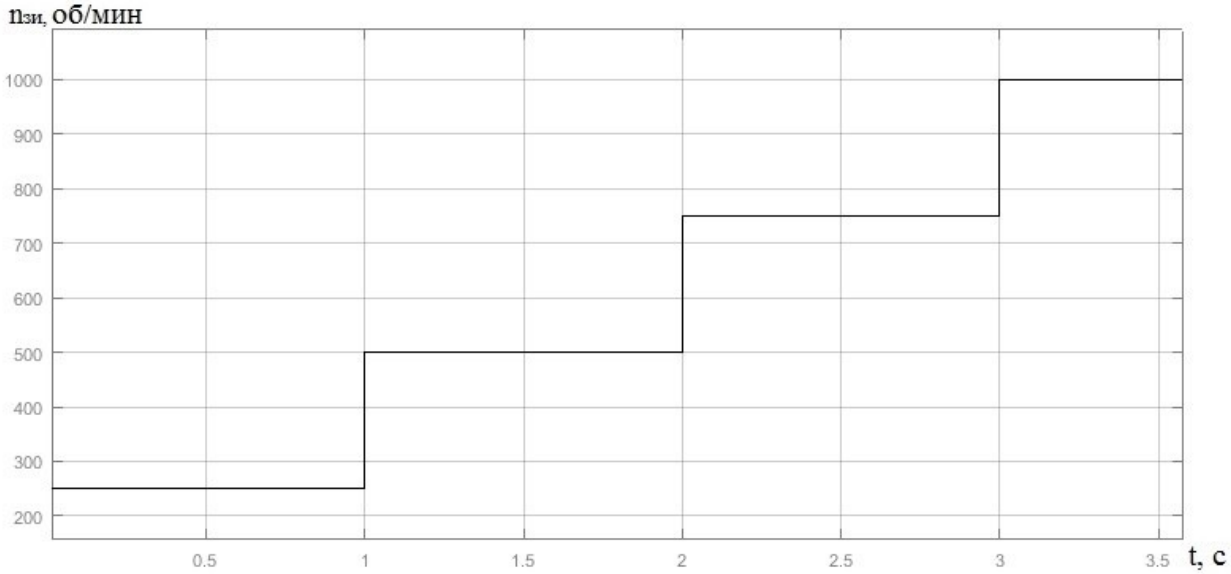

Рис. 5.7 Задание по скорости при тестировании системы дымосос-тракт

График изменения производительности при разгоне приведен на рисунке 5.8.

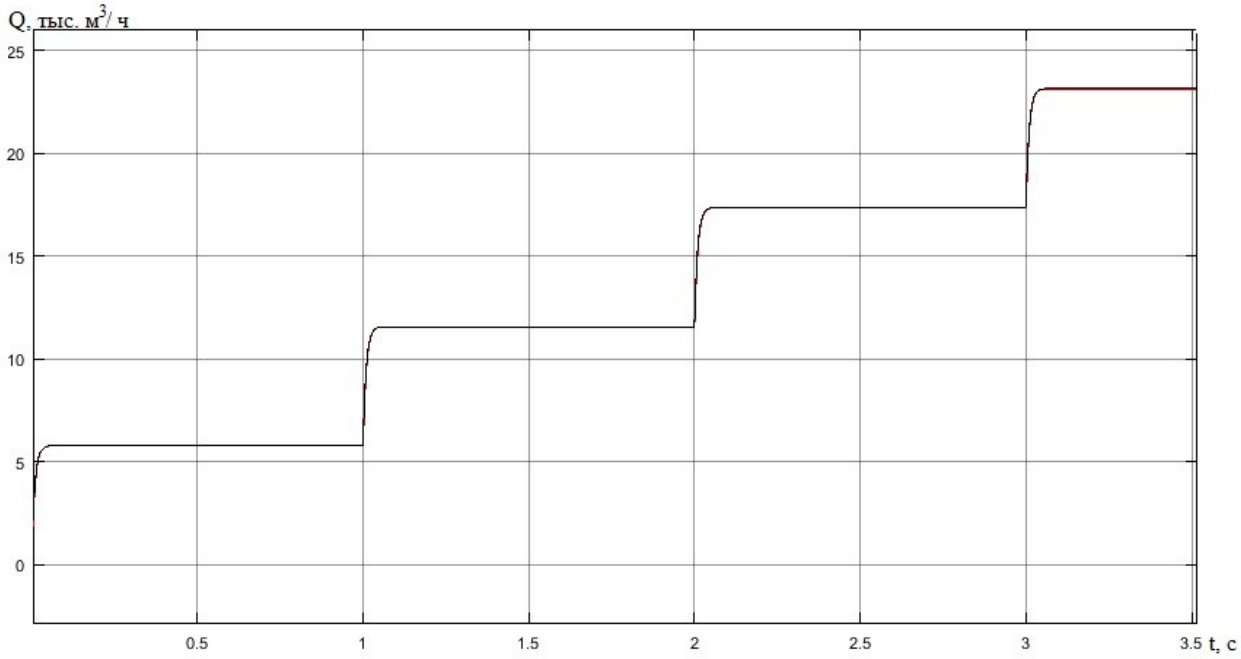

Рис. 5.8 Изменение производительности системы при ступенчатом разгоне двигателя

Исходя из приведенных графиков можно заключить, что систему дымосос-тракт можно идентифицировать апериодическим звеном первого порядка. В качестве идентификации системы дымосос-тракт подобрано апериодическое звено первого порядка следующего вида:

$$W_{ид\ дс-тр}(p) = \frac{0{,}02316}{0.00936\,s + 1}$$

Сравнение изменения производительности системы дымосос–тракт и ее идентификации приведено на рисунке 5.9.

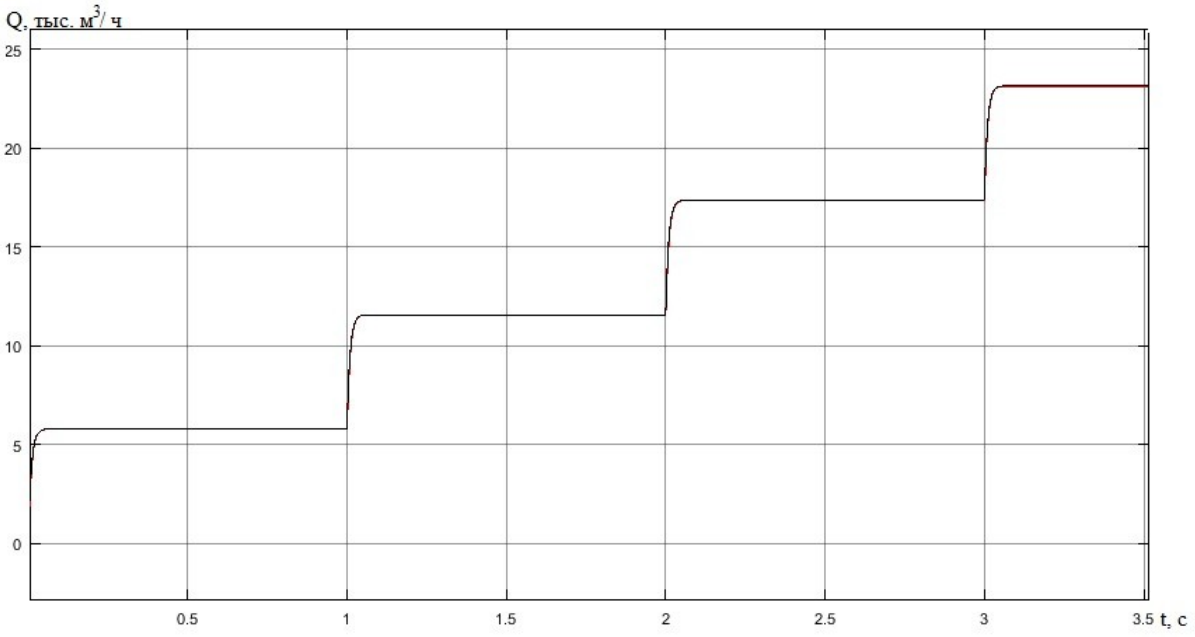

Рис. 5.9 Сравнение изменения производительности системы дымосос-тракт и ее идентификации при ступенчатом разгоне

5.3 Настройка регулятора контура производительности

Для выбора параметров ПИ–регулятора контура производительности рассматриваются идентифицированные звенья системы. Контур производительности, с использованием идентифицированных звеньев изображен на рисунке 5.10.

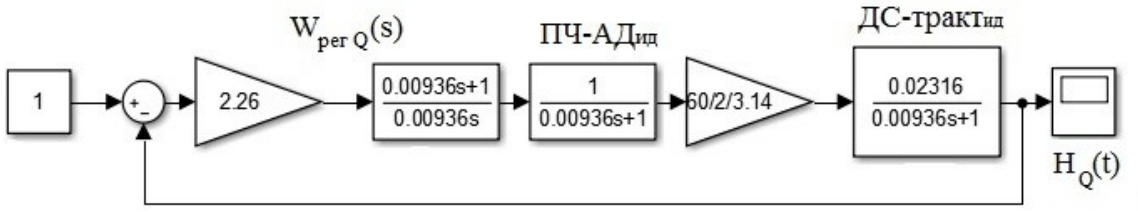

Рис. 5.10 Упрощенный контур производительности

$$W_{рег\ Q}(p) = \beta_{рег\ Q} * \frac{\tau_p * p + 1}{\tau_p * p} \qquad (39)$$

Где τ_p – наибольшая постоянная времени

$$\beta_{рег\ Q} = \frac{\tau_p}{2 * T_m * \kappa_{рс}} \qquad (40)$$

T_m – малая постоянная времени;

$к_{рс}$ – коэффициент усиления разомкнутой системы.

$$\beta_{рег\ Q} = 0,\ 00936 / \left(2 * 0{,}00936 * \frac{60}{2 * \pi} * 0.02316\right) = 2.26$$

Переходная характеристика контура производительности представлена на рисунке 5.11.

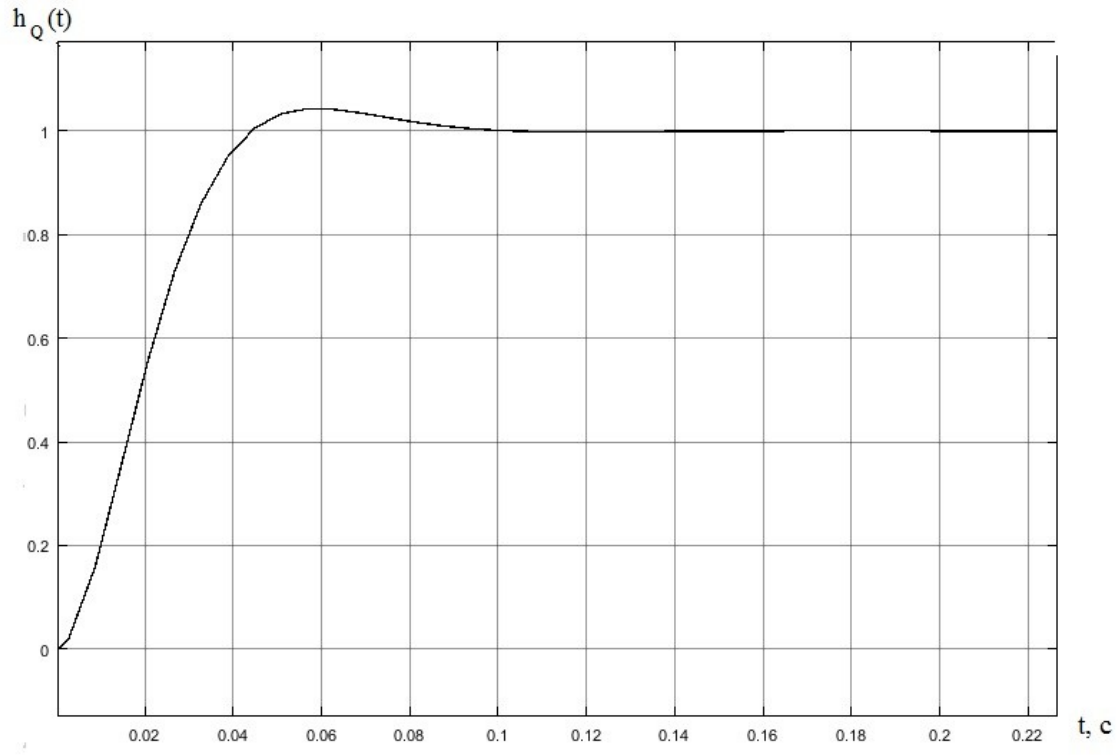

Рис. 5.11 Переходная характеристика контура производительности, настроенного на оптимум по модулю

Для проверки работоспособности системы необходимо рассмотреть полный контур производительности. При встраивании регулятора в полную модель возникли колебательные процессы, из-за чего решено было уменьшить коэффициент усиления регулятора. На рисунке 5.12 изображена полная математическая модель системы.

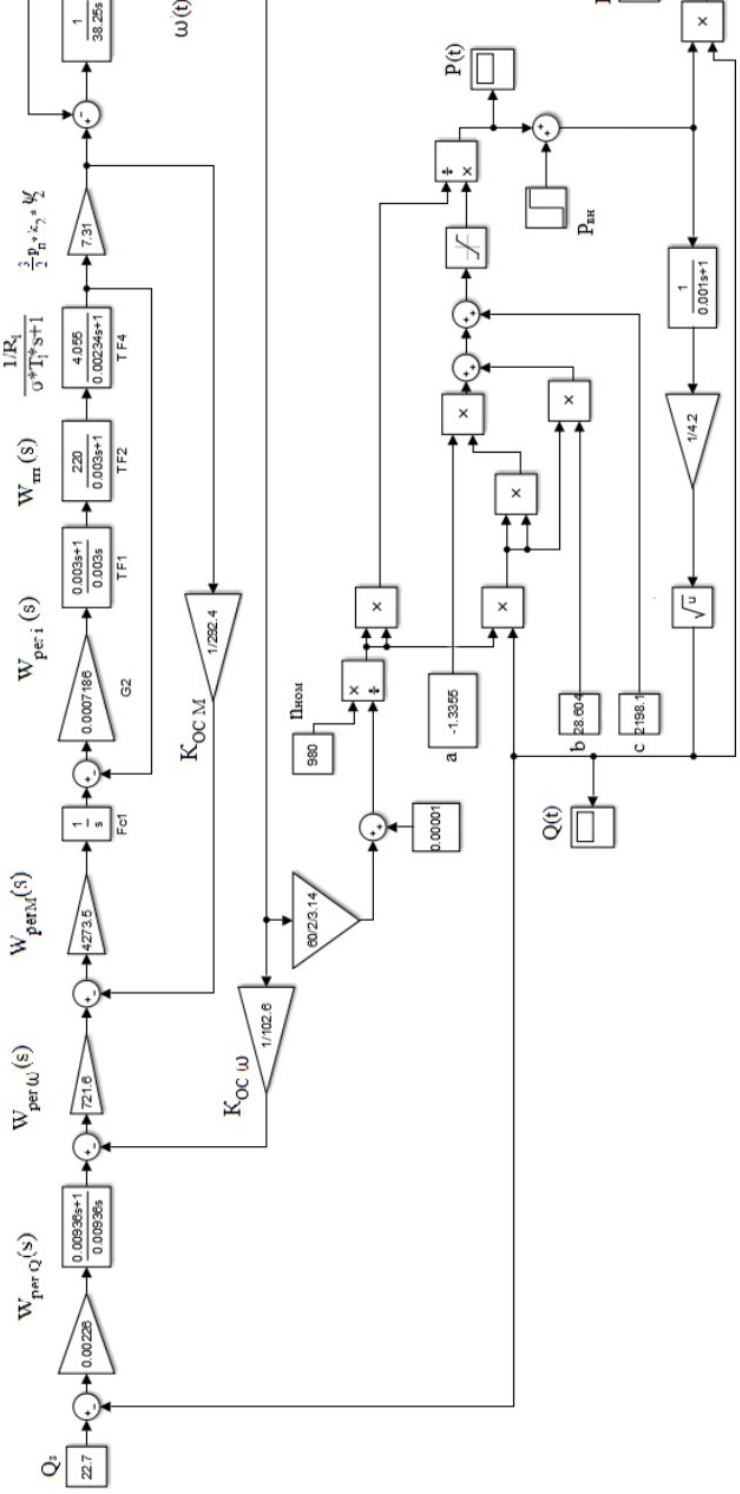

Рис. 5.12 Математическая модель системы электропривода дымососа

Проверка работоспособности системы при подаче внешнего воздействия

Для проверки реакции системы скачкообразно подано внешнее воздействие. График изменения производительности тракта при подаче внешнего воздействия представлен на рисунке 5.13.

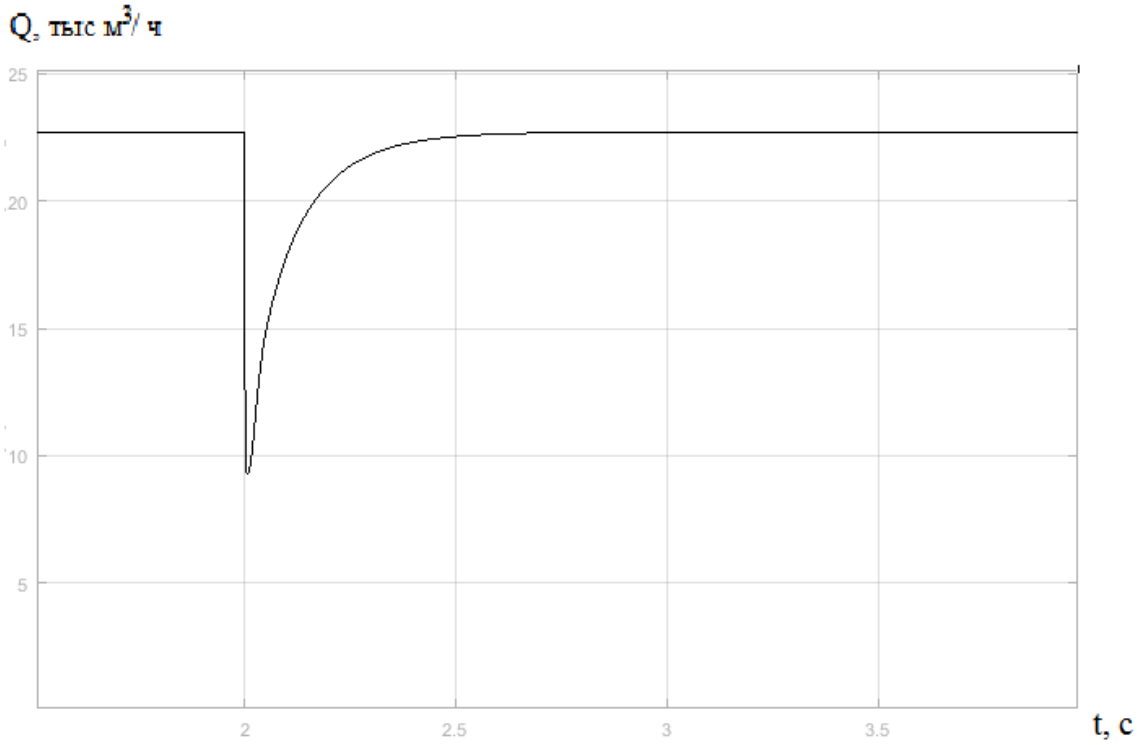

Рис. 5.13 График изменения производительности тракта при подаче нагрузки

Как видно из графика время переходного процесса (входа в 5%-ю зону) составило порядка 0, 5 секунды, при этом увеличилась скорость двигателя. График изменения скорости при подаче внешнего воздействия представлен на рисунке 5.14.

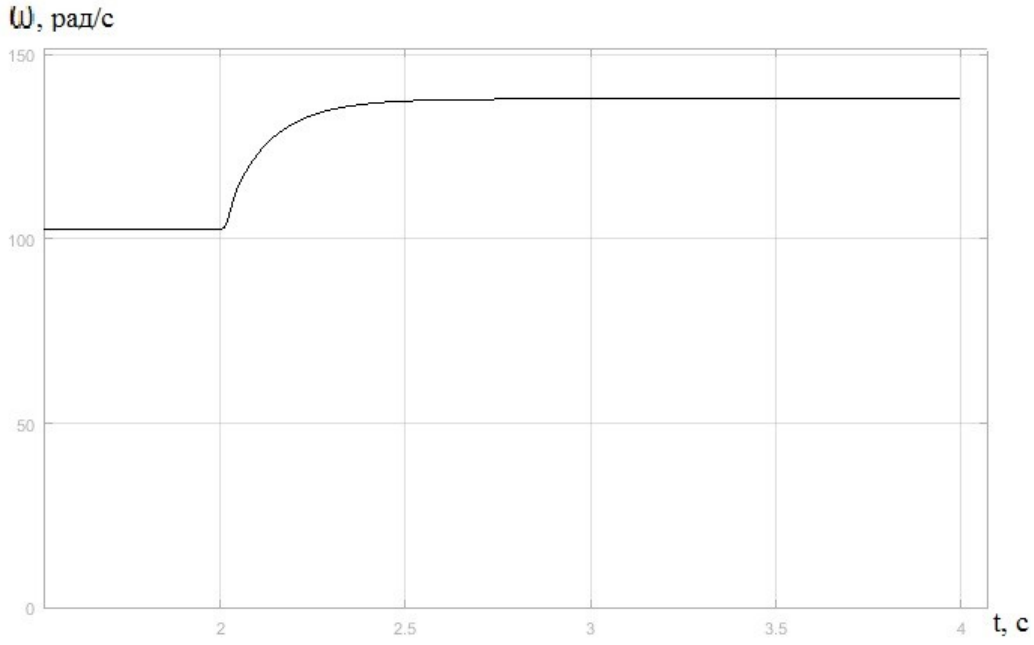

Рис. 5.14 График изменения скорости

В реальности смоделированный ранее перепад давления в газовоздушном тракте маловероятен. Однако, факт отработки подобного воздействия говорит о том, что с нормальными условиями, перепадами давления электропривод справится.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной бакалаврской работе разработан ряд рекомендаций модернизации дымососа ДН-12,5. Регулирование производительности направляющим аппаратом было заменено на частотное регулирование с обратной связью по скорости и производительности.

Для существующего двигателя был подобран преобразователь частоты согласно мощности и току, настроены ПИ-регуляторы тока, потокосцепления, момента, скорости и производительности.

Предлагаемая модернизация позволит снизить количество потребляемой системой электропривода энергии, увеличить степень автоматизации, повысить надежность за счет уменьшения количества механических составляющих привода, что повлечет снижение эксплуатационных издержек.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Киселев Н.А. Котельные установки: Учебное пособие для подгот. рабочих на пр-ве. - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1979. - 267с.
2. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием – М.: ACADEMIA, 2006г. - 265с.
3. Хуторной А.Н, Хон С.В. Аэродинамический расчет газовоздушного тракта котла : методические указания – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2010. – 40 с
4. Авдеева О.В. Система экстремального регулирования горением топлива в котельной установке. Вестник Пензенского государственного университета. – 2015. – № 3 (11). – С. 167–174.
5. Королев В.И. ЭЛЕКТРОПРИВОД: Методические указания по курсовому проектированию: Учебное пособие/ ГОУВПО СПбГТУ РП СПб., 2005. -44с.
6. Рудаков В.В., Столяров И.М., Дартау В.А. Асинхронные электроприводы с векторным управлением. – Л.: Энергоатомиздат, 2007. – 136 с.
7. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами. – Л.: Энергоиздат, 1998
8. Даденков Д.А., Солодский Е.М., Шачков А.М. Моделирование системы векторного управления асинхронным двигателем в пакете Matlab/Simulink. – Пермь. Вестник ПНИПУ, 2014. №11.
9. Анхимюк В.А., Опейко О.Ф., Михеев Н.Н. Теория автоматического управления. - Мн.: Дизайн ПРО, 2000. – 352 с.

Интернет ресурс:

10. РОСПРИВОД, rosprivod.com/catalog/chastotnye-preobrazovateli/vacon (Дата обращения: 15.12.2017
11. Агрегат, agregat.me/trekhfaznye-elektrodvigateli-380v/360-air200l6-elektrodlvigatel-30-kvt-980-ob-trehfaznyj-ru
12. Энергоснабкомплект: www.esbk.ru/products_info/ed/101_ed_as_obprom/elektrodvigatel_air_200l6 (Дата обращения 24.11.2017)
13. Электромотор: electronpo.ru/dvigatel_air200l (Дата обращения 10.11.2017)
14. Стигмаш: stigmash.ru/catalog/tjagodutevye-mashiny/vdn-i-dn/dn-125/ (Дата обращения 15.11.2017)
15. Бийский котельный завод: www.bikz.ru/production/oborudovanie/tiagdutmash/ventdutvisnapcentrkot1/dn-12_5-1000/ (Дата обращения 12.10.17)
16. Matrix group: www.vacon-ru.com/ (Дата обращения 29.11.17)