

РЕГУЛИРУЕМЫЙ АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ТЯГОДУТЬЕВЫХ МАШИН В СИСТЕМЕ ДВУХКАНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ РАЗРЕЖЕНИЕМ КОТЛОАГРЕГАТОВ С УРАВНОВЕШЕННОЙ ТЯГОЙ

М.А. Марченко, Г.М. Симаков

В статье рассматривается двухканальная система управления разрежением котлоагрегата. Проведен синтез регуляторов разрежения модифицированным модальным методом для двухканальных систем.

Ключевые слова: котлоагрегат, электропривод, разрежение.

В каждой паросиловой установке в процессе ее эксплуатации необходимо поддерживать равенство между количеством производимой и потребляемой энергии. При этом вид энергии не имеет значения. Всегда для установившегося режима верно основное равенство:

$$E_B = E_N + E_V,$$

где E_B – произведенная энергия; E_N – потребленная энергия; E_V – потери.

Наряду с потоками энергии, через элементы паросиловой установки протекают потоки веществ. Для потоков веществ, также как и для потоков энергии, должен соблюдаться баланс между количеством подведенного и отданного вещества [1].

При работе котлоагрегата вместе с топливом для поддержания процесса горения в топку подводится требуемое количество воздуха. Одновременно с этим из топки должны быть удалены продукты сгорания. Тем самым будет обеспечен баланс потока вещества протекающего по газовоздушному тракту котла. Показателем этого баланса является наличие небольшого (20-30 Па) разрежения в верхней части топки котла. Перемещение среды обеспечивается перепадом давлений на входе и выходе тракта создаваемым дутьевым вентилятором и дымососом.

Традиционно регулирование производительности тягодутьевых машин осуществляется дросселированием напорных линий. Этот способ направлен на решение технологических задач и не учитывает энергетических аспектов транспортировки среды. Энергетические показатели такого регулирования являются низкими [3].

Четко выраженный вентиляторный характер нагрузки диктует выбор параметров электрооборудования исходя из самой на-

пряженной точки в верхней части диапазона регулирования скорости. Вентиляторные установки выбираются на базовые режимы котлоагрегатов и максимальную производительность этих механизмов с запасом 5-10 %. Между тем, вследствие переменных режимов часы работы механизмов собственных нужд с максимальной нагрузкой не превышают 10-20 % общего времени их работы [6].

Применение частотно-регулируемого электропривода турбомеханизмов позволяет создать энергосберегающую технологию, при которой экономится не только электроэнергия, но и топливо, а также происходит его более эффективное сжигание. Кроме этого частотно-регулируемый электропривод обеспечивает щадящие, без электрических и гидравлических ударов, режимы работы, самих вентиляторов, приводных электродвигателей, а также сетей электроснабжения. Внедрение частотно-регулируемого асинхронного электропривода позволяет достигать оптимальных производственно-экономических показателей работы котлоагрегата [5].

В малоинерционных топках наиболее медленной операцией часто бывают действия, связанные с приведением в соответствие расхода воздуха и дымовых газов. Инерционность АСР зависит от типа регулируемого органа. Применение регулируемого электропривода увеличивает инерционность системы. Это связано с тем, что ротор тягодутьевой машины имеет большой вес, достигающий на котлоагрегатах большой мощности нескольких тысяч килограмм. Соответственно рабочая машина имеет большой момент инерции, в отдельных случаях превышающий момент инерции электродвигателя на порядок.

Следствием этого является увеличение времени переходных процессов в электроприводе.

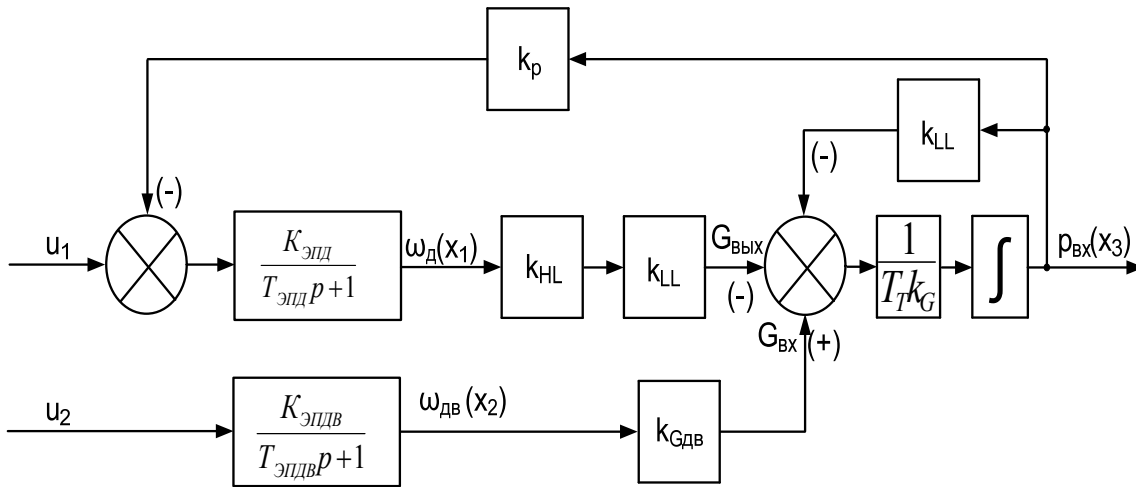


Рисунок 1 – Двухканальная структурная схема системы регулирования разрежения в топке котла

Быстродействие электропривода становится соизмеримым с быстродействием топки.

Для увеличения быстродействия системы нами предлагается двухканальная система управления разрежением котла. В этом случае необходимо учитывать режим работы дутьевого вентилятора. Его производительность определяется нагрузкой котла и в установившихся режимах она практически не меняется. В переходных режимах совместное управление работой дутьевого вентилятора и дымососа позволит увеличить быстродействие системы, что снизит время переходных процессов и приведет к более рациональному режиму работы котлоагрегата.

Для синтеза регулятора предложена модификация модального метода для двухканальных систем [1,2]. Задача синтеза заключается в обеспечении в замкнутой системе желаемого распределения корней и требуемой статике. Для придания системе определенных статических и динамических свойств вводится два корректора: корректор статике и корректор динамики. Корректор статике представляет собой интегрирующее звено, а корректор динамики реализуется набором обратных связей. В результате синтеза сравниваются действительное и желаемое характеристическое уравнения замкнутой системы и определяются коэффициенты обратных связей [1].

Двухканальная система управления разрежением в топке котла рисунок 1 описывается системой уравнений 3-го порядка без учета обратной связи по разрежению.

$$\begin{cases} \frac{d\omega_d}{dt} = -\frac{1}{T_{элд}}\omega_d + \frac{K_{элд}}{T_{элд}}u_1 \\ \frac{d\omega_{дв}}{dt} = -\frac{1}{T_{элдв}}\omega_{дв} + \frac{K_{элдв}}{T_{элдв}}u_2 \\ \frac{dp_{вх}}{dt} = -\frac{k_{HL}k_{LL}}{T_T k_G}\omega_d + \frac{k_{GДВ}}{T_T k_G}\omega_{дв} + \frac{k_{LL}}{T_T k_G}p_{вх} \end{cases} \quad (1)$$

где $K_{элд}$ – коэффициент передачи электропривода дымососа; $T_{элд}$ – постоянная времени электропривода дымососа; ω_d – скорость вращения электропривода дымососа; $K_{элдв}$ – коэффициент передачи электропривода дутьевого вентилятора; $T_{элдв}$ – постоянная времени электропривода дутьевого вентилятора; $\omega_{дв}$ – скорость вращения электропривода дутьевого вентилятора; k_{HL} – коэффициент напора дымососа; k_{LL} – коэффициент сопротивления тракта дымовых газов; k_G – коэффициент расхода дымовых газов; $k_{GДВ}$ – коэффициент расхода воздуха; $k_{GДВ}$ – коэффициент расхода воздуха; $k_{GДВ}$ – коэффициент расхода воздуха; $k_{GДВ}$ – коэффициент расхода воздуха; k_p – датчик разрежения; T_T – постоянная времени изменения состояния вещества; u_1, u_2 – управляющие воздействия по разрежению и расходу воздуха соответственно.

Для объекта (1) собственная матрица:

$$A = \begin{pmatrix} -\frac{1}{T_{элд}} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{T_{элдв}} & 0 \\ -\frac{k_{HL}k_{LL}}{T_T k_G} & \frac{k_{GДВ}}{T_T k_G} & \frac{k_{LL}}{T_T k_G} \end{pmatrix}$$

Матрица управлений В:

РЕГУЛИРУЕМЫЙ АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ТЯГОДУТЬЕВЫХ МАШИН В СИСТЕМЕ
ДВУХКАНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ РАЗРЕЖЕНИЕМ КОТЛОАГРЕГАТОВ
С УРАВНОВЕШЕННОЙ ТЯГОЙ

$$B = \begin{pmatrix} \frac{k_{\text{энД}}}{T_{\text{энД}}} & 0 \\ 0 & \frac{k_{\text{энДВ}}}{T_{\text{энДВ}}} \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \quad S(p) = \begin{pmatrix} p & 0 & 0 \\ 0 & p & 0 \\ 0 & 0 & p \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -\frac{1}{T_{\text{энД}}} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{T_{\text{энДВ}}} & 0 \\ \frac{k_{\text{HL}}k_{\text{LL}}}{T_{\text{T}}k_{\text{G}}} & \frac{k_{\text{GДД}}}{T_{\text{T}}k_{\text{G}}} & \frac{k_{\text{LL}}}{T_{\text{T}}k_{\text{G}}} \end{pmatrix} +$$

Матрица выхода C , векторы управляющих воздействий u , координат состояния x :

$$C = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad u = \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \end{pmatrix}, \quad x = \begin{pmatrix} \omega_{\text{Д}} \\ \omega_{\text{ДВ}} \\ p_{\text{вх}} \end{pmatrix}.$$

$$+ \begin{pmatrix} \frac{k_{\text{энД}}}{T_{\text{энД}}} & 0 \\ 0 & \frac{k_{\text{энДВ}}}{T_{\text{энДВ}}} \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} k_1 & k_2 & k_3 \\ 0 & 0 & k_3 \end{pmatrix} =$$

Элементы матрицы коэффициентов обратных связей K для многоканальных систем задаются исходя из технических соображений и определяются из условия $N=n(m-1)$.

Исходя из этих предпосылок, составим матрицу коэффициентов обратных связей

$$K = \begin{pmatrix} k_1 & k_2 & k_3 \\ 0 & 0 & k_3 \end{pmatrix}.$$

$$= \begin{pmatrix} p + \frac{1}{T_{\text{энД}}} + \frac{k_{\text{энД}}}{T_{\text{энД}}}k_1 & \frac{k_{\text{энД}}}{T_{\text{энД}}}k_2 & \frac{k_{\text{энД}}}{T_{\text{энД}}}k_3 \\ 0 & p + \frac{1}{T_{\text{энДВ}}} & \frac{k_{\text{энДВ}}}{T_{\text{энДВ}}}k_3 \\ \frac{k_{\text{HL}}k_{\text{LL}}}{T_{\text{T}}k_{\text{G}}} & \frac{-k_{\text{GДД}}}{T_{\text{T}}k_{\text{G}}} & p - \frac{k_{\text{LL}}}{T_{\text{T}}k_{\text{G}}} \end{pmatrix}.$$

Передаточная матрица объекта по управлению, представленная в виде

$$W_0(p) = C(pE - A)^{-1}B$$

Представим матрицу $S(p)$ как

$$S(p) = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} \end{pmatrix}$$

включает в себя только левые нули. В этом случае система с обратной связью, описывающая эквивалент регулятора динамики,

$$u = v - Kx$$

тогда,

$$\tilde{S}(p) = S_{ij}(p) = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} \end{pmatrix},$$

имеет передаточную матрицу по новому управлению v [2].

$$W_0(p) = \frac{1}{D_1(p)} C \Phi(p) B,$$

где S_{ij} – алгебраические дополнения элементов матрицы $S(p)$

также с левыми нулями,

здесь $\Phi(p) = S^*(p)$ – присоединенная по отношению к $S(p) = (pE - A + BK)$, матрица $D_1(p) = \det S(p)$

$$\Phi(p) = (S_{ij}(p))^T = \begin{pmatrix} S_{11} & -S_{12} & S_{13} \\ -S_{21} & S_{22} & -S_{23} \\ S_{31} & -S_{32} & S_{33} \end{pmatrix}$$

$$W_0(p) = \frac{1}{\det S(p)} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} S_{11} & -S_{12} & S_{13} \\ -S_{21} & S_{22} & -S_{23} \\ S_{31} & -S_{32} & S_{33} \end{pmatrix} \times$$

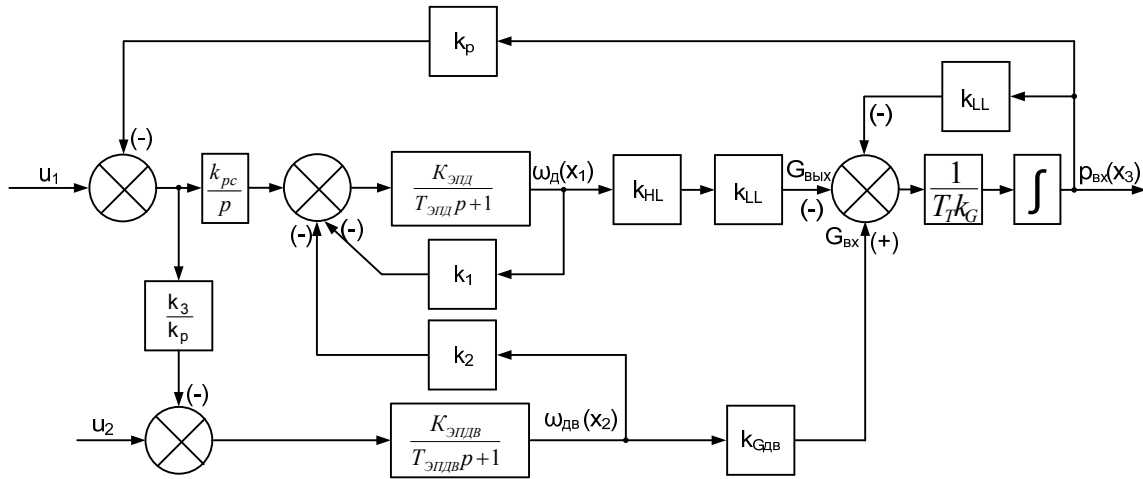


Рисунок 2 – Структурная схема синтезированной системы регулирования разрежения в топке котла

$$\begin{pmatrix} \frac{k_{энд}}{T_{энд}} & 0 \\ 0 & \frac{k_{эндв}}{T_{эндв}} \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \frac{k_{энд}}{T_{энд}} & 0 \\ 0 & \frac{k_{эндв}}{T_{эндв}} \\ 0 & 0 \end{pmatrix} = \frac{1}{\det S(p)} \begin{pmatrix} \frac{k_{энд}S_{13}}{T_{энд}} & -\frac{k_{эндв}S_{23}}{T_{эндв}} \\ -\frac{k_{энд}S_{12}}{T_{энд}} & \frac{k_{эндв}S_{22}}{T_{эндв}} \end{pmatrix}.$$

Регулятор статики представляется следующим образом:

$$p v = W_{pc}(p) \{g - y\}$$

$$W_{pc}(p) = k_{pc} (C\Phi(p)B)^{-1}$$

$$W_{pc}(p) = k_{pc} \begin{pmatrix} \frac{k_{энд}S_{13}}{T_{энд}} & -\frac{k_{эндв}S_{23}}{T_{эндв}} \\ -\frac{k_{энд}S_{12}}{T_{энд}} & \frac{k_{эндв}S_{22}}{T_{эндв}} \end{pmatrix}^{-1} = \begin{pmatrix} \frac{T_{энд}S_{22}}{k_{энд}(S_{13}S_{22} - S_{12}S_{23})} & \frac{T_{энд}S_{22}}{k_{энд}(S_{13}S_{22} - S_{12}S_{23})} \\ \frac{T_{эндв}S_{23}}{k_{эндв}(S_{13}S_{22} - S_{12}S_{23})} & \frac{T_{эндв}S_{12}}{k_{эндв}(S_{13}S_{22} - S_{12}S_{23})} \end{pmatrix}.$$

Операторное уравнение замкнутой системы принимает вид:
 $(pD_1(p) + k_{pc})y = k_{pc}g.$

Что соответствует характеристическому полиному каждого канала

$$D_3(p) = pD_1(p) + k_{pc}.$$

Приравнивая который к нормированному полиному (N(p))

$$N(p) = p^4 + c_3p^3 + c_2p^2 + c_1p + c_0.$$

Выбрав предварительно распределение корней нормированного полинома N(p) обеспечивающее заданное качество переходных процессов определим параметры регулятора.

Для моделирования работы системы регулирования разрежения в топке котла в среде MATLAB использована математическая модель составленная на основании структурной схемы рисунок 2. Моделирование было проведено для котла барабанного типа с уравновешенной тягой ТП-81. При моделировании использована модель с сосредоточенными параметрами. При моделировании рассматривались процессы относительно установившегося рабочего процесса. Результаты моделирования работы системы приведены на рисунках 3, 4, 5.

РЕГУЛИРУЕМЫЙ АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ТЯГОДУТЬЕВЫХ МАШИН В СИСТЕМЕ ДВУХКАНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ РАЗРЕЖЕНИЕМ КОТЛОАГРЕГАТОВ С УРАВНОВЕШЕННОЙ ТЯГОЙ

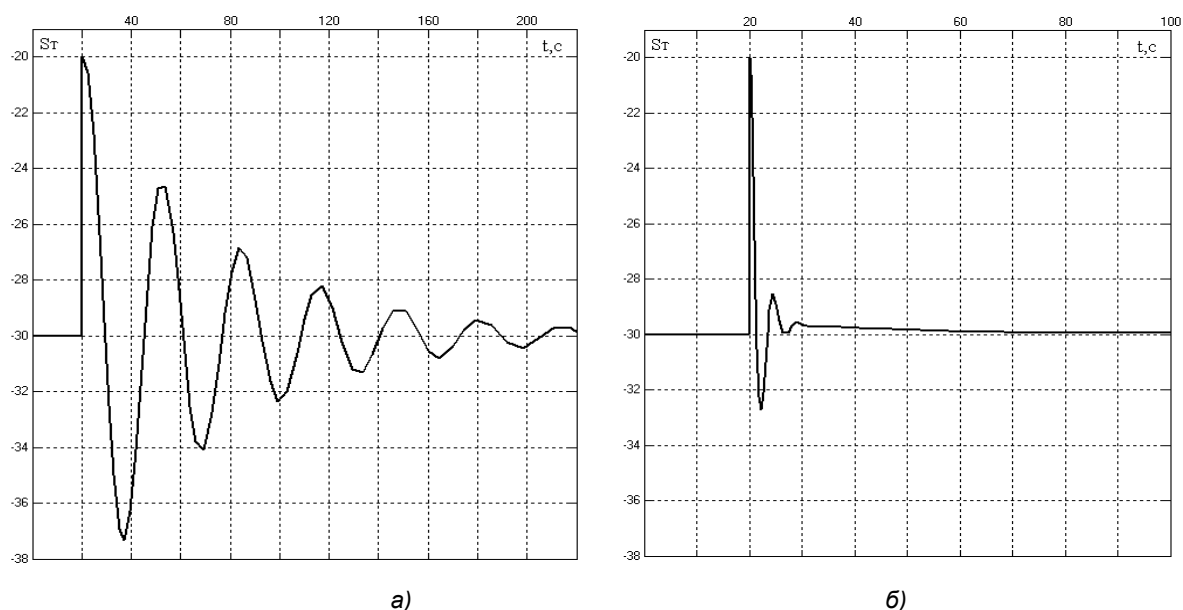


Рисунок 3 – Обработка рассогласования по разрежению в а) одноканальной, б) двухканальной системе регулирования разрежения

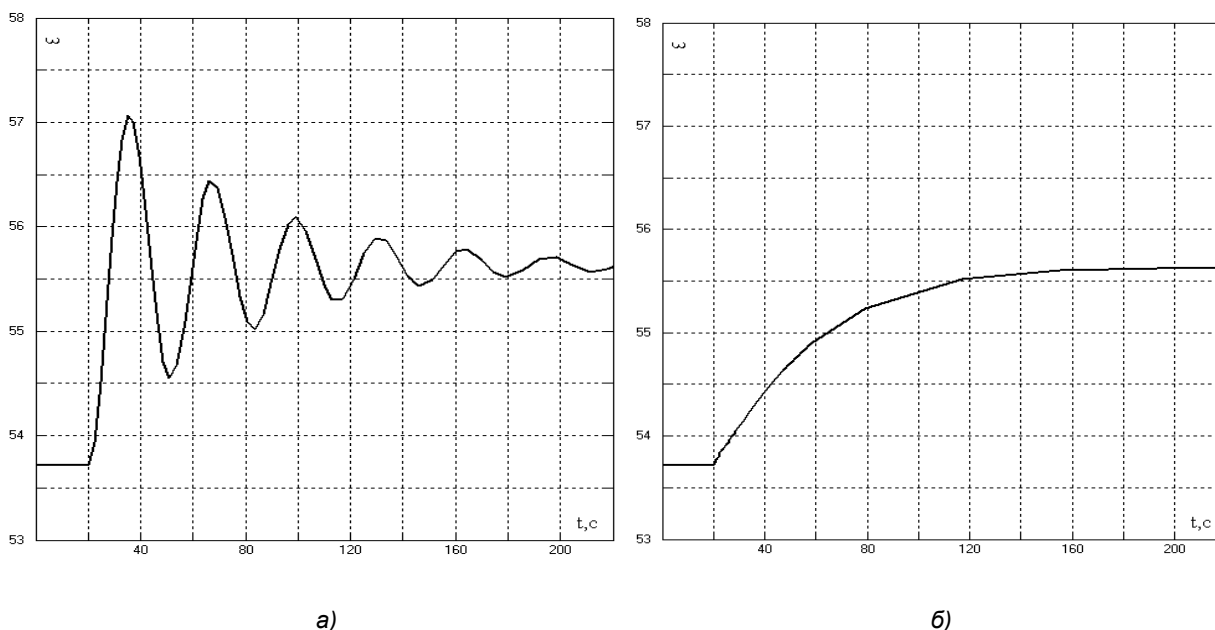
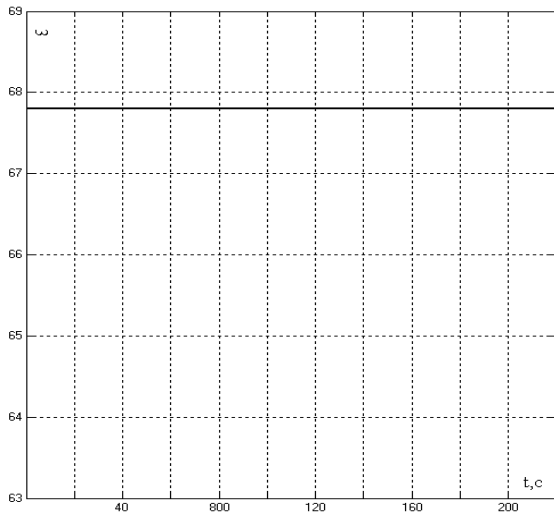


Рисунок 4 – Изменение скорости дымососа в а) одноканальной, б) двухканальной системе регулирования разрежения

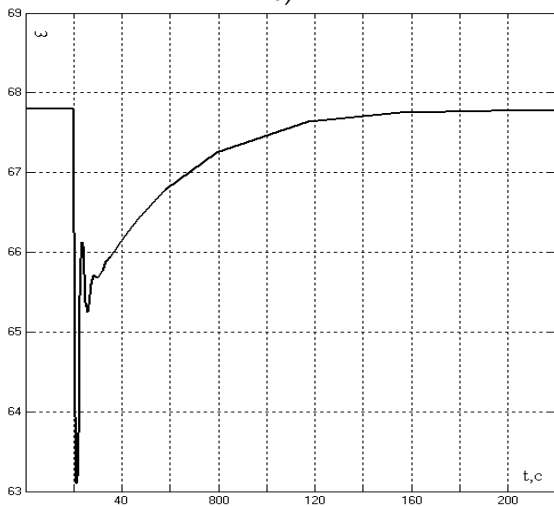
Моделирование работы системы регулирования разрежения в топке котлоагрегата показывает, что предложенная двухканальная система управления разрежением в топке котлоагрегата обеспечивает требуемое качество переходных процессов. Анализируя работу двухканальной системы, мы видим, что переходные процессы в топке заканчиваются значительно быстрее, чем в одноканальной системе, значительно уменьшает колебательность регулируемых величин. Повышен-

ная инерционность регулируемого электропривода не оказывает отрицательного влияния на быстродействие системы регулирования разрежения. Предложенный алгоритм управления разрежением в топке котла позволит решать технологические задачи с учетом энергетических аспектов транспортировки среды и достигать оптимальных производственно-экономических показателей работы котлоагрегата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ



а)



б)

Рисунок 5 – Изменение скорости дутьевого вентилятора в а) одноканальной, б) двухканальной системе регулирования разрежения

1. Востриков, А.С. Теория автоматического регулирования [Текст]: учеб. пособие / А.С. Востриков, Г.А. Французова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. – 368 с.

2. Панкратов, В.В. Специальные разделы современной теории автоматического управления [Текст]: учеб. пособие / В.В. Панкратов, Е.А. Зима, О.В. Нос. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. – 220 с.

3. Онищенко, Б.Г. Электропривод турбомеханизмов [Текст] / Г.Б. Онищенко, М.Г. Юньков. – М.: Энергия, 1972. – 240 с.

4. Гапоненко, А.М. Синтез программных систем автоматического управления теплоэнергетическими процессами барабанных котлов [Текст]: монография / А.М. Гапоненко, Ю.П. Добробаба, С.В. Ничепуренко; Кубан. гос. технолог. ун-т. – Краснодар: Изд-во КубГТУ, 2003. – 106 с.

5. Фираго Б.И. Регулируемые электроприводы переменного тока [Текст] / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. – Мн.: Техноперспектива, 2006.

6. Крюков О.В. Электрооборудование и автоматизация водооборотных систем предприятий с вентиляторными градирнями [Текст]: монография / О.В. Крюков, Н.В. Киянов; Нижегород. гос. техн. ун-т. – Нижний Новгород, 2007. – 260 с.

7. Симаков, Г.М. Система автоматического регулирования разрежением котлоагрегата, управляемая по двум каналам воздействия [Текст] // Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП – 2010: материалы X международной конференции, т. 7. Силовая электроника и мехатроника. Устройства автоматики и системы управления. – Новосибирск, 2010. – С. 85–89.

Марченко М.А., инженер, ОАО «Новосибирскэнерго», тел. 8(3832)89-12-84, E-mail: mt54@inbox.ru;

Симаков Г.М., д.т.н., проф., каф. «ЭАПУ», Новосибирский государственный технический университет, 8(383) 346-15-68, E-mail: Simakov44_86@mail.ru.