

Чернышев И. А., Чернышева Т. А.
I. A. Chernyshev, T. A. Chernysheva

ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА АППАРАТА ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА

A STUDY ON THE ASYNCHRONOUS VARIABLE-FREQUENCY ELECTRIC DRIVE OF A GAS AIR-COOLING APPARATUS



Чернышев Игорь Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры электропривода и электрооборудования Томского политехнического университета (Россия, Томск). E-mail: chia@tpu.ru.

Mr. Igor A. Chernyshev – PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Electric Drive and Electric Equipment, Tomsk Polytechnic University (Russia, Tomsk). E-mail: chia@tpu.ru.



Чернышева Татьяна Александровна – старший преподаватель кафедры инженерной графики и промышленного дизайна Томского политехнического университета (Россия, Томск). E-mail: cherta@tpu.ru.

Mrs. Tatyana A. Chernysheva – Senior Lecturer, Department of Engineering Graphics and Industrial Design, Tomsk Polytechnic University (Russia, Tomsk). E-mail: cherta@tpu.ru.

Аннотация. В статье рассмотрен асинхронный многодвигательный частотно-регулируемый электропривод аппарата воздушного охлаждения (АВО). Приведена функциональная схема системы управления АВО и структура автоматической системы управления технологическим процессом. Построена имитационная модель последовательного взаимосвязанного плавного пуска четырёх электродвигателей. Проведены исследования динамических процессов. Предложена реализация контура регулирования температуры газа на выходе АВО.

Summary. This paper considers an asynchronous multi-motor variable frequency drive of an air cooling apparatus (ACA). We provide a functional flow diagram of the ACA control system and suggest an automated process control system design. We build a simulated model for sequential smooth start of four electric motors and analyze dynamic processes. We suggest a design for the control loop of gas temperature in the output of ACA.

Ключевые слова: компримирование газа, аппарат воздушного охлаждения, многодвигательный электропривод переменного тока, регулирование температуры газа.

Key words: gas compression, air cooling apparatus, multi-motor variable frequency drive, control loop of gas temperature, sequential smooth start.

УДК 62-83

В процессе подготовки природного газа к транспортировке по магистральным газопроводам (МГ) на компрессорных станциях (КС) при компримировании происходит нагрев газа. Для предотвращения линейного расширения МГ и энергосбережения газ необходимо охладить при помощи аппарата воздушного охлаждения (АВО).

На большинстве газовых промыслов применяется способ управления АВО газа, заключающийся в ручном или дистанционном включении-отключении вентиляторов, число которых

определяется оператором. Определение факта закупорки теплообменных трубок гидратами производится визуально по наличию инея на трубках. Отогрев закупоренных трубок осуществляется при помощи парогенераторной установки. Однако во многих случаях гидратообразования даже указанная процедура неэффективна, и приходится отключать секцию до весны.

Для решения проблемы поддержания требуемой температуры газа на выходе АВО и защиты теплообменных труб от гидратообразования целесообразно использовать систему автоматического управления (САУ) АВО с использованием частотного преобразователя (ПЧ), функциональная схема которой представлена на рис. 1.

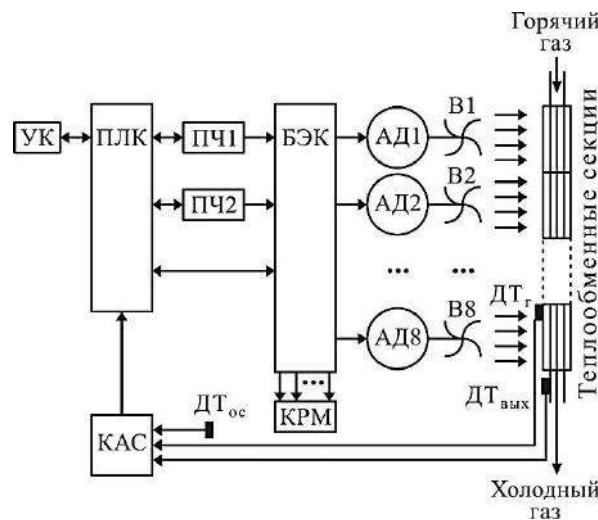


Рис. 1. Функциональная схема системы управления АВО

Принцип действия системы управления АВО состоит в следующем. На основании информации о температуре окружающего воздуха система определяет число вентиляторов, необходимых для запуска. При пуске того или иного вентилятора программируемый логический контроллер (ПЛК) подключает электродвигатель данного вентилятора к сети посредством блока электромагнитных контакторов (БЭК) через ПЧ. После того как электродвигатель разогнался до требуемой частоты, ПЛК посредством БЭК подключает его к трехфазной сети напрямую. При этом параллельно к электродвигателю вентилятора подключается конденсатор большой емкости (КРМ). Если от управляющего компьютера (УК) поступает сигнал о том, что температура газа на выходе превысила верхний предел допустимого диапазона, то ПЛК посредством БЭК подключает необходимый вентилятор к ПЧ, который увеличивает частоту вращения электродвигателя. После достижения требуемой частоты вентилятор отключается от ПЧ и переводится на сеть. При поступлении сигнала о том, что температура газа на выходе оказалась меньше нижнего предельного значения допустимого диапазона, ПЛК посредством БЭК подключает необходимый вентилятор к ПЧ, который уменьшает частоту вращения вентилятора. После достижения требуемой частоты вентилятор отключается от ПЧ и переводится на сеть. Если от УК поступает сигнал о приближении температуры стенки теплообменных трубок той или иной секции к температуре $\leq 0^\circ\text{C}$ (это означает, что в трубках началось гидратообразование и газ по ним не поступает), то ПЛК посредством БЭК отключает необходимый вентилятор от сети, подключает его к ПЧ, который, после того как электродвигатель остановится, запускает его в обратном направлении (реверс). Так как гидратообразование начинается с нижних рядов теплообменных трубок, то данная процедура позволяет «разморозить» нижние ряды потоком теплого воздуха от верхних рядов, по которым все еще проходит теплоноситель. Таким образом, алгоритм работы локальной САУ АВО газа в составе автоматической системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) транспортировки газа будет описываться блок-схемой, представленной на рис. 2.

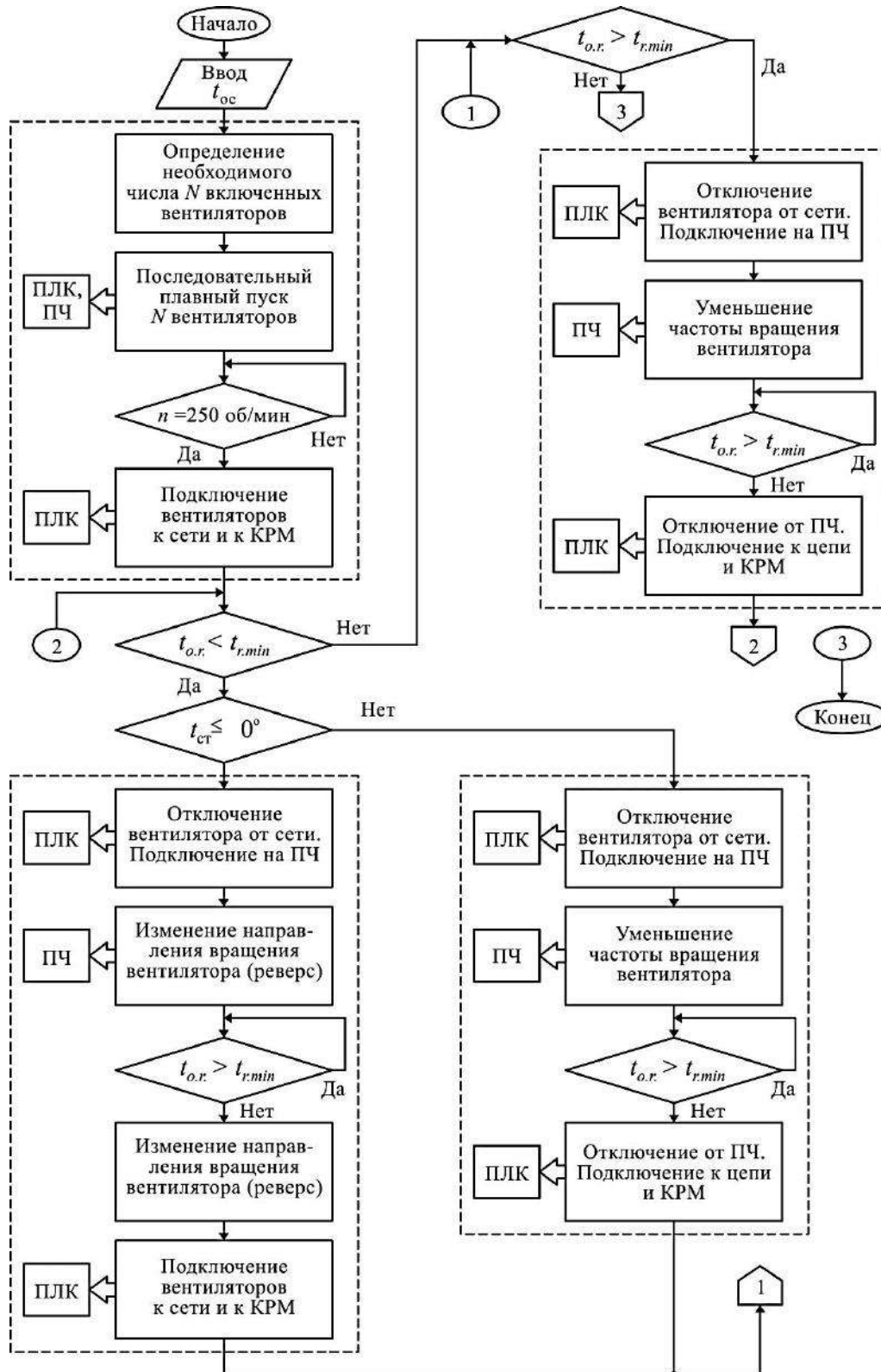


Рис. 2. Алгоритм работы САУ АВО

Для АСУ ТП АВО используется трехуровневая структура (см. рис. 3). Нижний уровень содержит датчики температуры и исполнительные устройства (двигатели, компенсаторы реактивной мощности, контакторы и преобразователи частоты).

К среднему уровню системы автоматизации относятся программно-аппаратные модули: концентратор аналоговых сигналов, микроконтроллер, ПЛК.

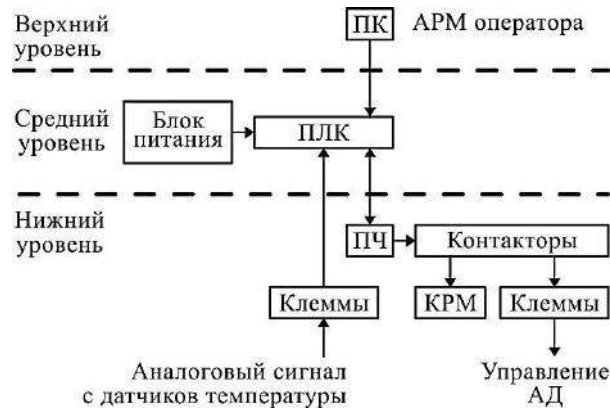


Рис. 3. Трехуровневый программно-аппаратный комплекс

Верхний уровень представляет собой автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора на базе персонального компьютера.

На основе функциональной схемы системы управления была построена блок-схема структуры АСУ ТП и произведён выбор аппаратных средств (см. рис. 4).



Рис. 4. Структура АСУ ТП

На рис. 5 приведена функциональная схема 8-двигательного частотно-регулируемого электропривода АВО газа с учетом трехуровневой структуры системы управления технологическим процессом. Она включает: два ПЧ, микропроцессорную систему управления на базе программируемого контроллера Simatic S7-200, блок электромагнитных контакторов, АРМ, датчик температуры и восемь асинхронных двигателей с вентиляторами.

На основании данной схемы была смоделирована имитационная модель системы автоматического регулирования 4-двигательного взаимосвязанного электропривода одной секции АВО газа (см. рис. 6).

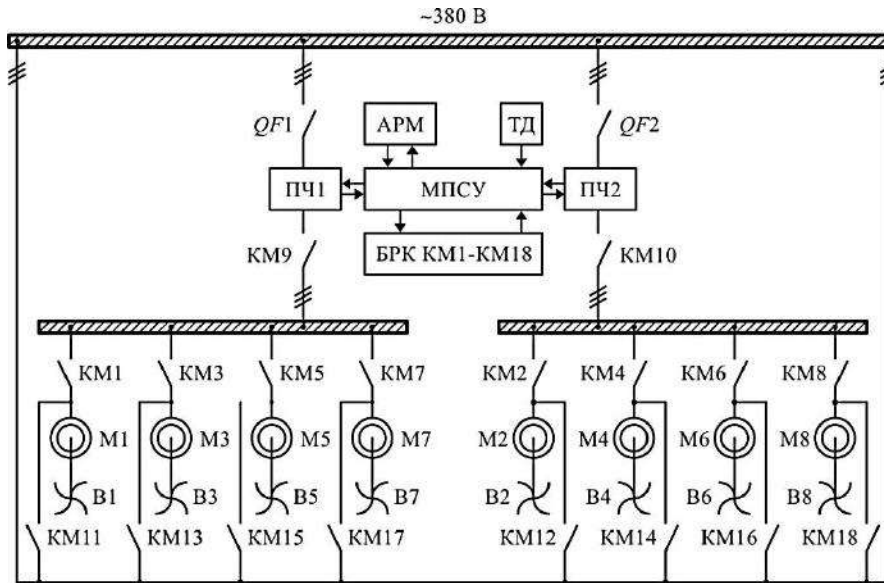


Рис. 5. Функциональная схема 8-двигательного частотно-регулируемого электропривода АВО газа

В основные функции программируемого контроллера (MPSU) входит определение необходимого числа запускаемых вентиляторов в зависимости от температуры окружающего воздуха в соответствии с зависимостью (см. рис. 7). Данная зависимость была получена на основе профессионального опыта персонала газовых промыслов Уренгойского газоконденсатного месторождения.

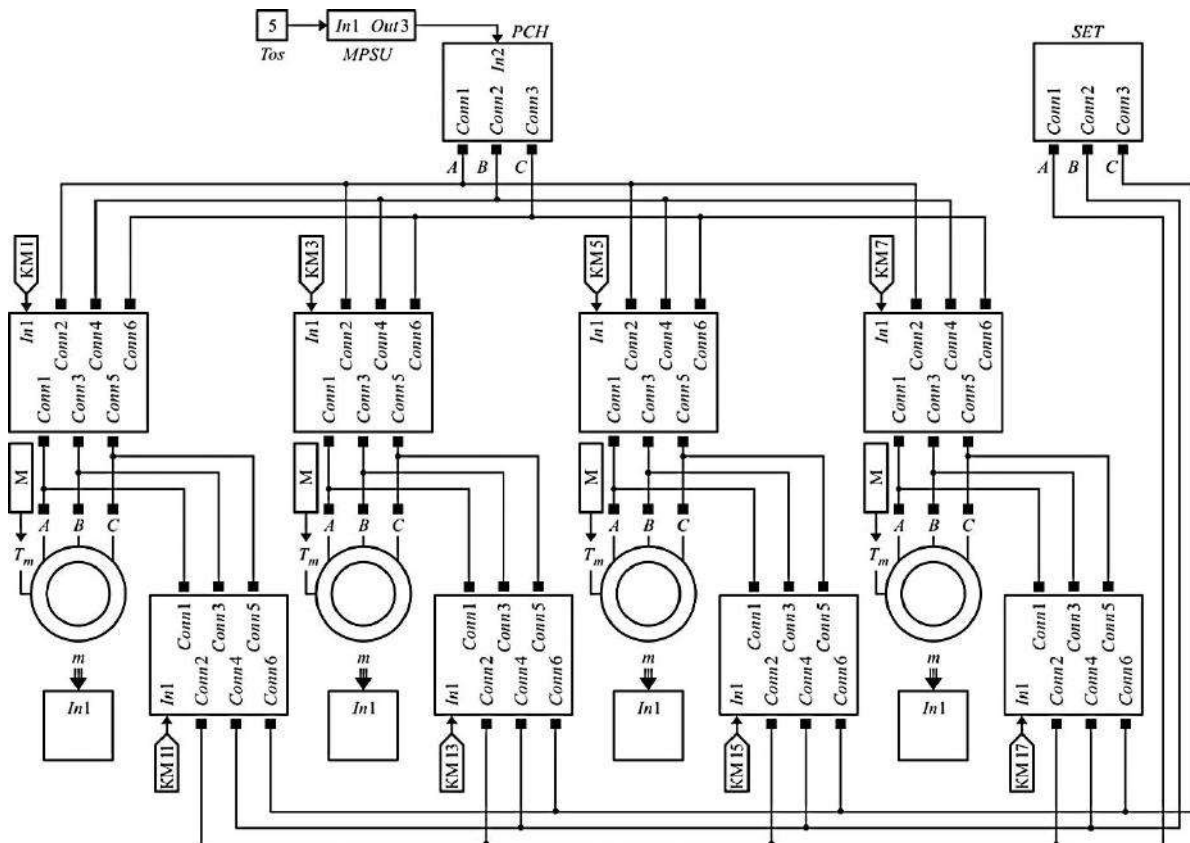


Рис. 6. Имитационная модель последовательного взаимосвязанного плавного пуска четырёх электродвигателей

Также программируемый контроллер выполняет функции блока релейной коммутации, обеспечивая последовательное подключение электродвигателей к ПЧ, а затем подключение их напрямую в сеть при помощи силовых контакторов.

Программируемый контроллер формирует задающий сигнал на вход ПЧ, который выполняет функции плавного пуска. Задатчик интенсивности обеспечивает время нарастания задающего сигнала за 21 с. По истечении данной временной уставки происходит переключение одного двигателя напрямую в сеть, а второй подключается к ПЧ и т.д. Таким образом, производится последовательный взаимосвязанный плавный пуск 4 двигателей (см. рис. 8).

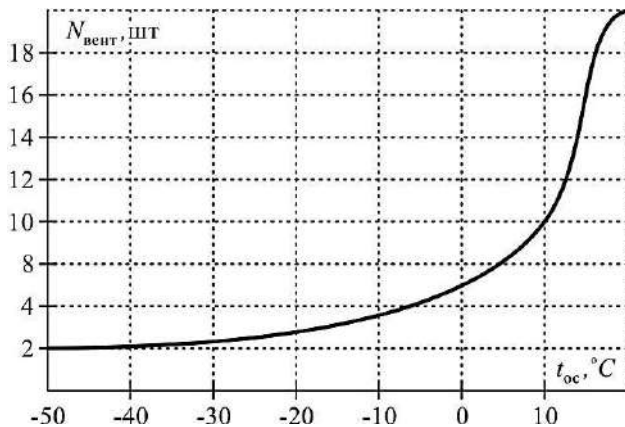


Рис. 7. Изменение числа включенных вентиляторов АВО газа в зависимости от температуры окружающего воздуха

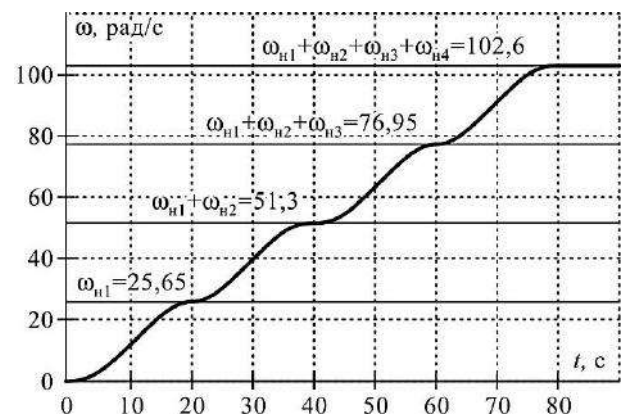


Рис. 8. Переходный процесс частоты вращения двигателей при взаимосвязанном плавном пуске

Для обеспечения поддержания температуры на выходе АВО необходим контур регулирования по температуре. Таким образом, контроллер должен будет отслеживать не только необходимое число запускаемых вентиляторов, но и обеспечение запуска последнего вентилятора по замкнутому контуру регулирования.

На рис. 9 приведена имитационная модель САУ следящего электропривода с обратной связью по температуре для одного двигателя.

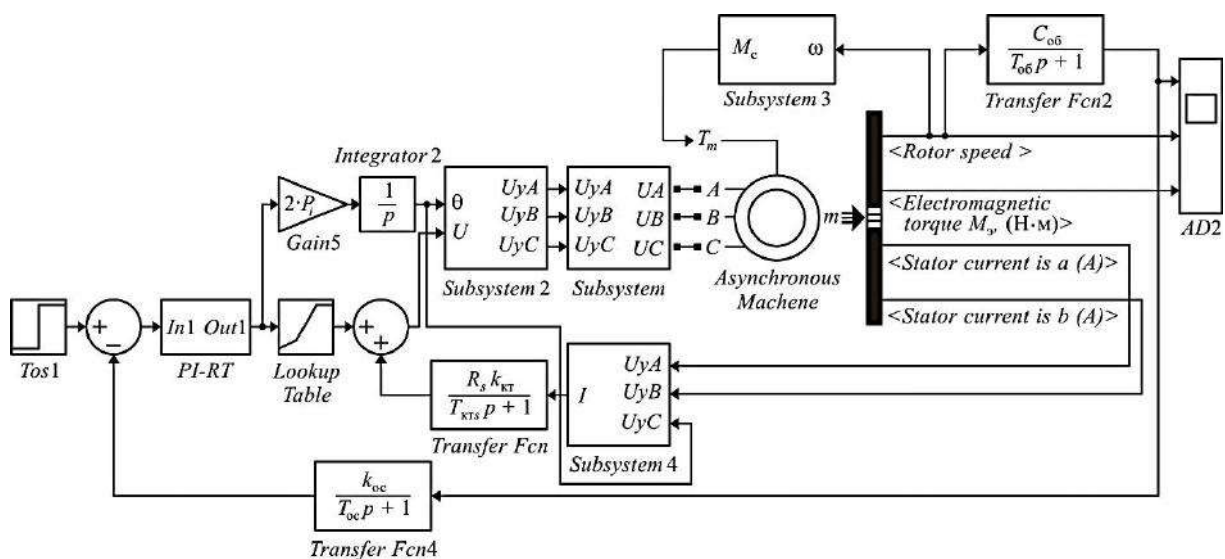


Рис. 9. Имитационная модель электропривода с обратной связью по температуре

Объект управления представлен аperiodическим звеном с передаточной функцией

$$W(p) = \frac{k_{ia}}{T_{ia} p + 1}.$$

Для оптимизации контура регулирования необходимо выбрать тип регулятора и параметры его настройки, которые позволили бы получить желаемое качество переходных процессов по управлению и по возмущению, а также получить желаемый астатизм системы. Принимаем, что регулятор температуры будет пропорционально-интегрального типа с передаточной функцией:

$$W(p) = k_{\delta\delta} \frac{T_{\delta\delta} p + 1}{T_{\delta\delta} p}.$$

Для контура характерно отсутствие установившейся ошибки регулирования при обработке скачка возмущения.

Переходные процессы скорости, момента и изменение температуры при обработке контуром регулирования заданного сигнала на 25 °С и ступенчатом изменении температуры на 6-й секунде до 20 °С приведены на рис. 10.

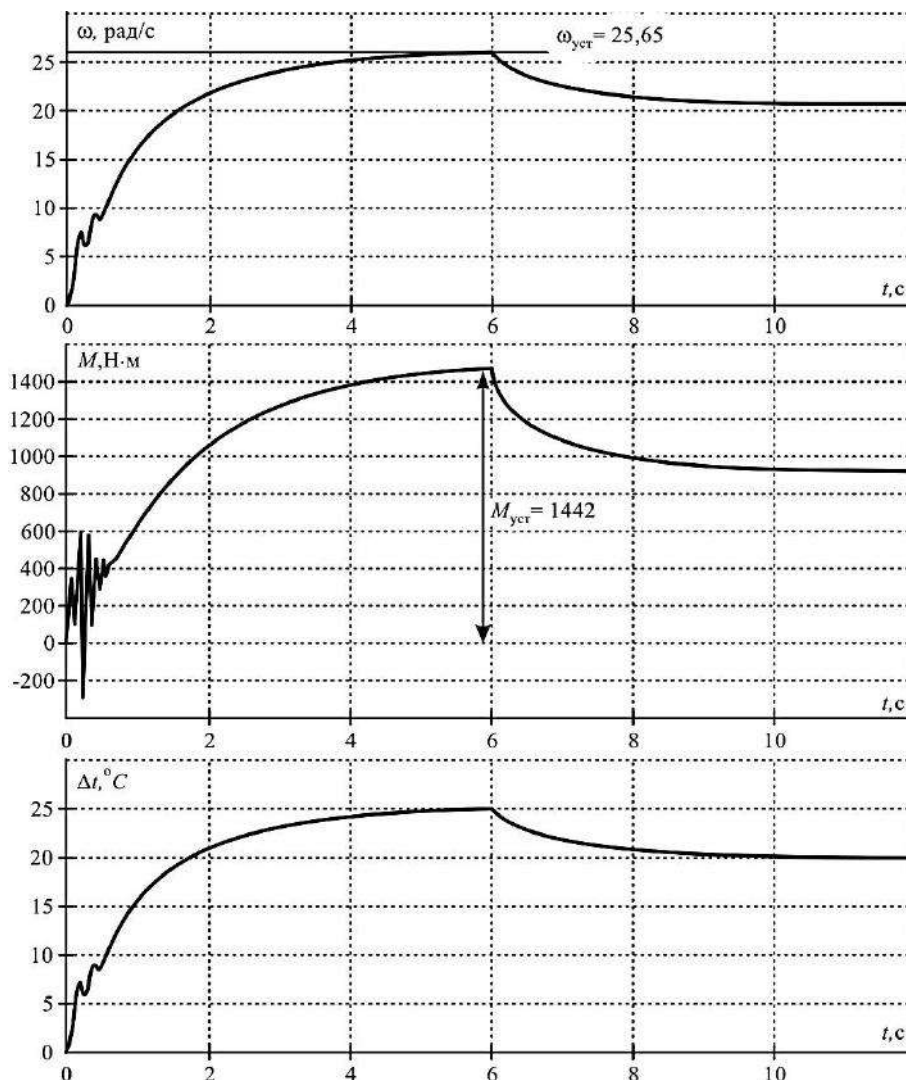


Рис. 10. Переходные процессы скорости, момента и температуры при ступенчатом изменении задания

Так как интенсивность охлаждения каждого вентилятора зависит от температуры окружающей среды, то по характеристике (см. рис. 7) определяется число включенных вентиляторов АВО газа в зависимости от температуры окружающего воздуха, а по рис. 11 определяется коэффициент передачи объекта.

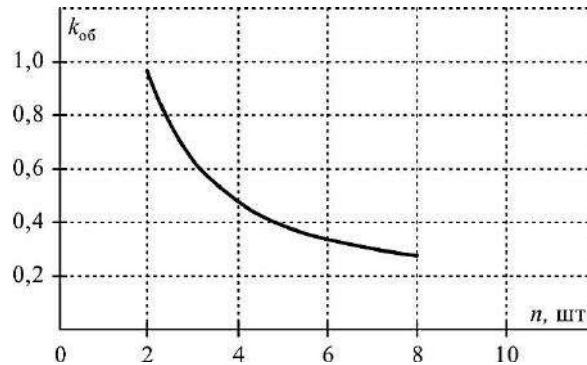


Рис. 11. Зависимость коэффициента передачи объекта от количества включенных вентиляторов АВО газа

Температура, на которую охлаждает один вентилятор, определяется по выражению

$$\Delta t_{1\text{а\text{а}0}} = k_{1\text{а}} \cdot \omega_1 ,$$

где ω_1 – номинальная скорость двигателя.

Значения величин, указанных выше, сведены в табл. 1.

Таблица 1

$t_{\text{вн}} , ^\circ\text{C}$	n , шт	$k_{1\text{а}}$	$\Delta t_{1\text{а\text{а}0}} , ^\circ\text{C}$
-50	2	0,975	25
-40	2,25	0,8934	23
-30	2,5	0,8122	20,83
-20	3	0,6416	16,46
-10	3,6	0,55	14,17
-5	4,5	0,44	11,25
0	6	0,325	8,33
+5	8	0,244	6,25

Защита от образования гидратов в теплообменных секциях осуществляется при достаточно низких температурах окружающего воздуха и приближении температуры теплообменных секций к температуре гидратообразования.

Автоматическое поддержание заданной температуры на выходе АВО осуществляется не для одного объекта управления (в соответствии с рис. 9), а для восьми. Интенсивность охлаждения всех вентиляторов можно определить суммируя интенсивность охлаждения каждого вентилятора.

Так как средняя температура газа на входе в АВО составляет $t_{\text{а\text{в}}} = 66 \text{ } ^\circ\text{C}$, а для обеспечения надёжной транспортировки газа необходимо поддерживать температуру $t_{\text{с\text{а\text{а}}} = 15 \dots 18 \text{ } ^\circ\text{C}$ на выходе из аппарата, то температура охлаждения сырья будет равна $\Delta t = 50 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Переходный процесс охлаждения газа с температуры горячего газа $66 \text{ } ^\circ\text{C}$ до $16 \text{ } ^\circ\text{C}$ на выходе из АВО при температуре окружающей среды $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ приведен на рис. 12.

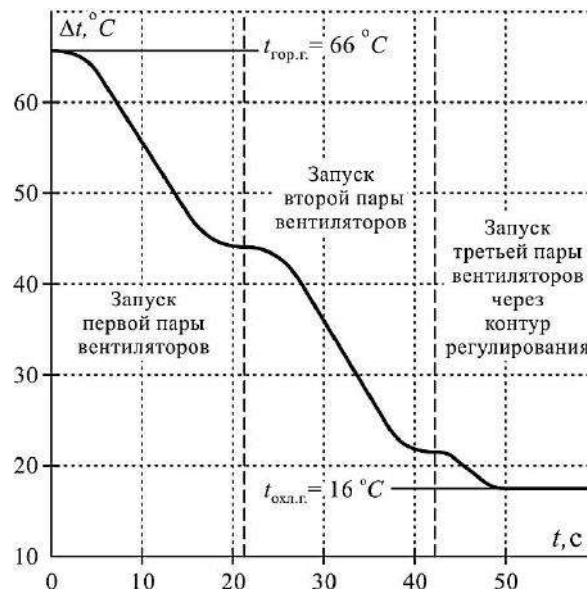


Рис. 12. Переходный процесс охлаждения газа на выходе АВО при температуре окружающего воздуха 0 °С

Таким образом, САУ АВО осуществляет следующие функции:

- автоматическое поддержание заданной температуры ($t_{\text{зад}}$) на выходе АВО путём включения/выключения определённого числа вентиляторов;
- частотное регулирование частоты вращения вентиляторов в зависимости от температуры окружающей среды ($t_{\text{окр}}$) и температуры задания ($t_{\text{зад}}$);
- защита АВО от закупорки теплообменных секций изменением частоты и направления вращения вентиляторов;
- плавный последовательный пуск группы электродвигателей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Копырин, В. С. Асинхронный частотно-регулируемый взаимосвязанный электропривод аппарата воздушного охлаждения нефтепродуктов / В. С. Копырин, В. П. Бакута // Силовая электроника. – 2005. – № 3.
2. Крюков, Н. П. Аппараты воздушного охлаждения / Н. П. Крюков. – М.: Химия, 1983. – 165 с.
3. Мальцева, О. П. Системы управления асинхронных частотно-регулируемых электроприводов: учеб. пособие / О. П. Мальцева, Л. С. Удут, Н. В. Кояин. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 476 с.
4. Чернышев, А. Ю. Электропривод переменного тока: учеб. пособие для вузов / А. Ю. Чернышев, Ю. Н. Дементьев, И. А. Чернышев. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 213 с.
5. Черных, И. В. Моделирование электрических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink / И. В. Черных. – СПб.; М.: Питер; ДМК Пресс, 2008. – 288 с.