

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА (МИИТ)»
(РУТ (МИИТ))**

Одобрено кафедрой
«ТЯГОВЫЙ ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ»

Протокол № ____ от _____ 201__ г.

Автор: _____

**ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ С МЕТОДИЧЕСКИМИ
УКАЗАНИЯМИ**

ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Теория систем автоматического управления

Уровень ВО: *Специалитет*

Форма обучения: *Заочная*

Курс: *6*

Специальность/Направление: *23.05.03 Подвижной состав железных
дорог (ПСС)*

Специализация/Профиль/Магистерская программа: *Все специализации*

Москва

ВВЕДЕНИЕ

Современный тепловоз является сложным энергетическим объектом, где использованы достижения дизелестроения, электромашиностроения, полупроводниковой техники и т.д. Практически, без применения различных автоматических устройств машинист уже не в состоянии поддерживать рациональные режимы работы различных агрегатов и узлов тепловоза. Поэтому автоматизация работы агрегатов и систем современных локомотивов является важнейшим фактором их эффективного использования и повышения надежности.

Основной задачей курса «Теория систем автоматического управления» является изучения основ теории автоматических систем, принципов построения локомотивных автоматических систем управления, регулирования и защиты, методики их настройки.

Кроме рекомендованных учебных пособий, целесообразно при изучении курса и выполнении настоящей контрольной работы ознакомление с такими периодическими изданиями, как журналы «Локомотив», «Железнодорожный транспорт», реферативные сборники «Электротехническая промышленность (серия «Тяговое и подъемно-транспортное оборудование») и др.

Цель настоящей контрольной работы – помочь студенту в изучении теоретических разделов и методики разработки конструктивных схем различных устройств автоматики, применяемых на современных тепловозах.

ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ

В работе студент должен разработать одну из тем по теории систем автоматического управления и решить две задачи по теории автоматических систем.

Тема работы выбирается с помощью таблицы по последней цифре шифра студента.

Последняя цифра шифра	Наименование темы	Литература
1	Автоматическая система регулирования частоты вращения вала дизеля тепловоза ТЭП70	1, 6
2	Автоматическая система регулирования напряжения тягового генератора тепловоза ЧМЭЗ	1, 2, 6
3	Автоматическая система регулирования напряжения тягового генератора тепловоза ТЭМ2	1, 2, 6
4	Автоматическая система регулирования напряжения тягового генератора тепловоза 2ТЭ10В	1, 2, 6
5	Автоматическая система регулирования напряжения тягового генератора тепловоза 2ТЭ116	1, 2, 6
6	Автоматическая система регулирования температуры теплоносителей дизеля тепловоза 2ТЭ10В	1, 4, 6
7	Автоматическая система регулирования температуры теплоносителей дизеля тепловоза ТЭМ7	1, 4, 6
8	Автоматическая система регулирования температуры теплоносителей дизеля тепловоза ТЭП70	1, 4, 6
9	Автоматическая система управления электрической передачей тепловоза 2ТЭ116	1, 6
0	Автоматическая система защиты дизеля тепловоза 2ТЭ116 по предельному значению температуры теплоносителей	1, 6

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Работа должна содержать:

1. Введение
2. Описание заданной автоматической системы управления, регулирования или защиты, ее назначение, условия эксплуатации, принцип действия, принципиальную и функциональную схемы автоматической системы управления, регулирования или защиты, назначение основных функциональных элементов, вопросы устойчивости систем.
3. Решение двух задач по теории автоматических систем (по своему варианту)

Работа должна быть выполнена в тетради, сброшюрованной из листов формата 210x297 мм, с обязательным оставлением полей для замечаний рецензента, аккуратно, разборчивым почерком. При выборе требуемых расчетных величин, использовании таблиц, формул, справочных материалов необходимо ссылаться на источники. Графическая часть работы выполняется на миллиметровой бумаге. Таблицы и графики необходимо вставлять в тетрадь так же, как и страницы с текстом в корешок тетради (не следует приклеивать графики и таблицы к полям страницы!). Страницы работы, таблицы и графики должны быть пронумерованы, работу следует подписать и указать дату ее выполнения.

После получения прорецензированной работы необходимо, независимо от того зачтена она или нет, исправить все замечания и сделать требуемые дополнения. Если работа не зачтена, следует в кратчайший срок выполнить требования рецензента и передать исправленную работу вместе с рецензией для повторной проверки. При этом нет необходимости переписывать целиком работу или отдельные ее разделы, а также производить исправления по написанному тексту; все исправления и дополнения должны быть сделаны на отдельных листах и вклеены или вшиты в соответствующие места работы. Стирать или зачеркивать замечания рецензента запрещается.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

1. Во введении необходимо кратко показать актуальность темы, роль и значение автоматики и автоматизации в управлении и регулировании силовых установок тепловозов и т.д., необходимо также отметить цель работы.

2. В разделе «Назначение, условия и принцип действия заданной автоматической системы управления (АСУ), регулирования (АСР) или защиты (АСЗ)» следует рассмотреть принципиальную, функциональную схему АСУ, АСР или АСЗ, привести описание ее работы, основные характеристики, проанализировать взаимосвязь отдельных функциональных элементов автоматики, дать краткую оценку устойчивости систем.

3. В разделе, предусматривающем решение задач по теории автоматических систем, следует:

3.1. Аппроксимировать экспериментальную нормированную переходную временную кривую $h(\tau)$ объекта регулирования, полученную после скачкообразного изменения возмущения на входе, передаточной функцией вида

$$W(p) = k \cdot e^{-p\tau_3} \cdot \frac{1}{Tp + 1}, \quad (1)$$

где k – коэффициент усиления (передачи) объекта регулирования,

τ_3 – время запаздывания объекта регулирования, с

T – постоянная времени объекта регулирования, с

h – ордината регулируемой величины,

τ – текущее время, с.

Переходная временная кривая $h(\tau)$ объекта регулирования задана в табличной форме (см. табл. 1.).

Следует:

- построить график кривой $h(\tau)$, выбрать на нем точки A и B , соответствующие значениям ординаты $h_A \approx 0,3$ и $h_B \approx 0,9$;

- определить графическим способом значения текущего времени τ для h_A и h_B .

- найти значения динамических параметров объекта регулирования τ_3 и T , используя выражения

$$\tau_3 = \frac{\tau_B \cdot \ln(1 - h_A) - \tau_A \cdot \ln(1 - h_B)}{\ln(1 - h_A) - \ln(1 - h_B)}, \quad (2)$$

Таблица 1.

Ординаты переходной временной кривой $h(\tau)$ объекта регулирования

Вариант	Текущее время τ , с																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	0	0,05	0,13	0,24	0,39	0,58	0,75	0,85	0,91	0,95	0,97	0,98	0,99	1,0							
1	0	0,04	0,12	0,20	0,32	0,46	0,61	0,72	0,80	0,85	0,89	0,92	0,94	0,96	0,97	0,98	1,0				
2	0	0,04	0,10	0,17	0,28	0,40	0,52	0,60	0,67	0,74	0,79	0,83	0,88	0,92	0,95	0,97	0,98	1,0			
3	0	0,03	0,08	0,15	0,22	0,32	0,42	0,52	0,60	0,67	0,74	0,79	0,83	0,87	0,91	0,95	0,97	0,99	1,0		
4	0	0,02	0,06	0,11	0,18	0,26	0,35	0,43	0,51	0,59	0,65	0,72	0,77	0,82	0,87	0,91	0,95	0,98	0,99	1,0	
5	0	0,01	0,04	0,08	0,14	0,20	0,28	0,37	0,46	0,55	0,64	0,72	0,79	0,84	0,88	0,92	0,95	0,97	0,98	0,99	1,0
6	0	0,01	0,04	0,08	0,15	0,23	0,32	0,44	0,55	0,65	0,73	0,79	0,84	0,87	0,92	0,94	0,96	0,98	0,99	1,0	
7	0	0,01	0,05	0,09	0,16	0,27	0,40	0,54	0,65	0,75	0,81	0,85	0,88	0,91	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,0
8	0	0,01	0,05	0,11	0,20	0,32	0,50	0,65	0,74	0,80	0,84	0,88	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	1,0
9	0	0,02	0,07	0,15	0,26	0,44	0,62	0,75	0,82	0,88	0,91	0,94	0,96	0,98	0,99	0,99	1,0				

$$T = -\frac{\tau_A - \tau_3}{\ln(1 - h_A)}. \quad (3)$$

- 3.2. Рассчитать аппроксимирующую нормированную переходную временную кривую $h_a(\tau)$ объекта регулирования, используя выражение

$$\begin{cases} h(\tau) = 0; & 0 \leq \tau \leq \tau_3 \\ h(\tau) = h_\infty \left[1 - e^{-\frac{\tau - \tau_3}{T}} \right]; & \tau > \tau_3 \end{cases} \quad (4)$$

и полученные ранее значения динамических параметров объекта регулирования τ_3 и T .

Данные расчета свести в таблицу. Наложить на график экспериментальной кривой $h(\tau)$ аппроксимирующую кривую $h_a(\tau)$.

ПРИМЕР

выполнения задания по разделу «Назначение, условия и принцип действия заданной автоматической системы управления, регулирования или защиты»

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ ТЯГОВОГО СТАТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ТЕПЛОВОЗА

Применяемые в электрических передачах отечественных тепловозов тяговые полупроводниковые преобразовательные установки – выпрямители (управляемые и неуправляемые), инверторы, преобразователи частоты, имеют, как правило, принудительное воздушное охлаждение. В штатном исполнении системы охлаждения тяговых полупроводниковых преобразовательных установок должны обеспечить подачу охлаждающего воздуха, соответствующую расчетным режимам работы электрических передач. Однако, как электровозы, так и тепловозы (особенно маневровые) редко работают на расчетных режимах. Несоответствие количества подаваемого охлаждающего воздуха количеству теплоты, отводимого от силовых полупроводниковых приборов (неуправляемых вентилей, тиристоров, транзисторов), приводит к тому, что их температура изменяется в широких пределах. Как показали исследования, выполненные специалистами ВНИИЖТ, ресурс силовых полупроводниковых приборов зависит не только и не столько от уровня температуры, сколько от амплитуды и частоты циклических изменений температуры. Стабилизацию температурных режимов работы и защиту от перегрева силовых полупроводниковых приборов может обеспечить автоматическая система регулирования температуры (АСРТ) непрерывного действия, имеющая определенные преимущества перед замкнутыми системами регулирования релейного действия или разомкнутыми системами регулирования.

Возможность и целесообразность введения систем, автоматически изменяющих количество воздуха в системах охлаждения тяговых полупроводниковых преобразовательных установок локомотивов, специалисты ВНИИЖТ отмечали еще в 1970-х годах. Актуальность этой проблемы сохраняется и в настоящее время, поскольку тяговые полупроводниковые преобразовательные установки находят все более широкое применение в электрических передачах современного тягового подвижного состава.

Функциональная схема АСРТ тяговой полупроводниковой преобразовательной установки тепловоза представлена на рис. 1. Обозначения на схеме: ОР – объект регулирования (поз. 1); ИУ1, ИУ2 – измерительные устройства – датчики регулируемой величины (температуры) (поз. 2 и 3); ИУ3, ИУ4 – измерительные устройства – датчики основных возмущающих воздействий (поз. 4 и 5); ИУ5 – измерительное устройство – датчик регулирующего воздействия (поз. 6); СУ1, СУ2, СУ3 – сравнивающие устройства (поз. 7, 8 и 9); ЗУ1, ЗУ2, ЗУ3 – задающие устройства – задатчики заданных значений величин (поз. 10, 11 и 12); УВ – устройство выбора максимального значения выходного сигнала датчика регулируемой величины (поз. 13); УК – устройство коррекции коэффициента передачи регулятора, содержащее математическую модель системы охлаждения тяговой полупроводниковой преобразовательной установки (поз. 14); РО – регулирующий орган (поз. 15); ИМ – исполнительный механизм (поз. 16). Исполнительный механизм ИМ и регулирующий орган РО образуют ИРУ – исполнительно-регулирующее устройство. На рис. 1: φ_{11} и φ_{12} – регулируемые величины; λ_1 , λ_2 – основные возмущения, воздействующие на объект регулирования температуры ОРТ; μ – регулирующее воздействие; $h_{им}$ – выходной сигнал исполнительного механизма; $X_{дi}$ – выходные сигналы датчиков; $X_{зj}$ – выходные сигналы задатчиков; ΔX_{cy} – выходные сигналы сравнивающих устройств; ΔX_k – выходной сигнал устройства коррекции коэффициента передачи регулятора; η_1 , η_2 , η_3 – сигналы задания.

В АСРТ функции объекта регулирования выполняет система охлаждения тяговой полупроводниковой преобразовательной установки СО (поз. 17), функции измерительных устройств ИУ1 и ИУ2 выполняют датчики температуры ДТ1 и ДТ2 (поз. 18 и 19). Этих датчиков может быть несколько в зависимости от числа силовых полупроводниковых приборов, которые могут иметь наиболее высокие температуры. Функции измерительного устройства ИУ3 выполняет датчик тока нагрузки тяговой полупроводниковой преобразовательной установки ДТН (поз. 20), измерительного устройства ИУ4 – датчик температуры наружного охлаждающего воздуха ДТ3 (поз. 21), а измерительного устройства ИУ5 – датчик подачи вентилятора охлаждения ДПВ (поз. 22).

Функциональная схема непрерывной автоматической системы регулирования температуры тяговой полупроводниковой преобразовательной установки тепловоза

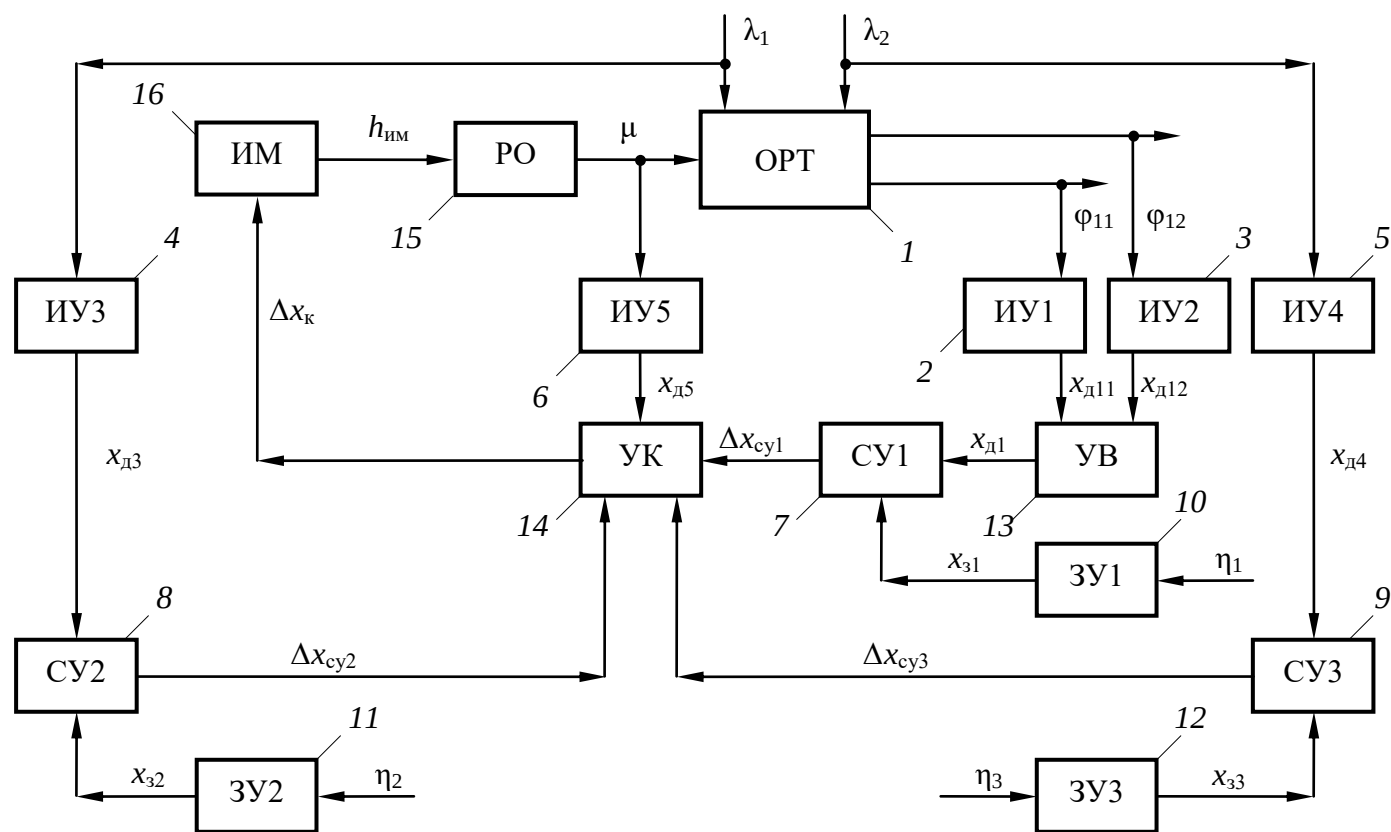


Рис. 1

Функции регулирующего органа РО выполняет вентилятор охлаждения ВО (поз. 23), а функции исполнительного механизма ИМ – привод вентилятора ПВ (поз. 24). Все функциональные элементы системы регулирования (кроме объекта регулирования ОРТ) образуют регуляторы температуры: по отклонению регулируемой температуры от заданного значения (ИУ1, ИУ2, ЗУ1, СУ1, ИУ5, УК, ИМ и РО) и регуляторы по основным возмущениям: по току нагрузки тяговой полупроводниковой преобразовательной установки (ИУ3, ЗУ2, СУ2, ИМ и РО) и по температуре наружного охлаждающего воздуха (ИУ4, ЗУ3, СУ3, ИМ и РО). Регулятор по отклонению вместе с ОРТ образуют замкнутый контур в системе регулирования, а регуляторы по возмущениям – разомкнутые контуры.

В АСРТ используется два дополнительных сигнала управления: по току нагрузки тяговой полупроводниковой преобразовательной установки и по температуре наружного охлаждающего воздуха, поэтому эта система является автоматической комбинированной системой регулирования с сигнальной компенсацией действия основных возмущений: тока нагрузки тяговой полупроводниковой преобразовательной установки и температуры наружного охлаждающего воздуха. Использование дополнительных сигналов управления позволяет значительно увеличить запасы устойчивости системы и показатели качества её работы (относительное перерегулирование, время регулирования и др.), то есть уменьшить амплитуду колебаний температуры силовых полупроводниковых приборов и уменьшить затраты энергии на охлаждение силовых полупроводниковых приборов.

Устойчивость и качество работы системы регулирования зависят от значения её такого статического параметра как коэффициент передачи системы регулирования $k_{рс}$ (в разомкнутом состоянии), который равен произведению коэффициента передачи объекта регулирования температуры ОР $k_{орт}$ и коэффициента передачи регулятора по отклонению k_p , то есть при постоянном значении k_p коэффициент $k_{рс}$ будет изменяться пропорционально коэффициенту $k_{орт}$. Известно, что коэффициент $k_{орт}$ систем охлаждения как тепловых объектов регулирования увеличивается при уменьшении тепловой нагрузки, что приводит к увеличению коэффициента $k_{рс}$ и к уменьшению устойчивости и качества работы, то есть к значительным колебаниям регулируемой величины φ . Для системы регулирования температуры тяговой полупроводниковой преобразовательной установки это означает, что при уменьшении тока нагрузки тяговой полупроводниковой преобразовательной установки I_n или температуры наружного охлаждающего воздуха T_2 будет увеличиваться $k_{орт}$, что приведет к увеличению коэффициента $k_{рс}$ и к уменьшению устойчивости и качества работы системы, то есть к значительным колебаниям регулируемой температуры силовых полупроводниковых приборов T_1 .

В автоматической системе регулирования коэффициент передачи автоматического регулятора k_p изменяется автоматически в зависимости от регулирующего воздействия μ (количества подаваемого вентилятором охлаждающего воздуха $G_{вз}$) с помощью измерительных устройств ИУ5 и УК таким образом, чтобы коэффициент передачи системы регулирования (по замкнутому контуру) $k_{рс}$ оставался постоянным при любых токах нагрузки тяговой полупроводниковой преобразовательной установки I_n и при любых температурах наружного охлаждающего воздуха T_2 (см. рис. 2).

Таким образом, применение измерительного устройства ИУ5 и устройства коррекции коэффициента передачи регулятора УК позволяет осуществить параметрическую компенсацию действия основных возмущений: тока нагрузки тяговой полупроводниковой преобразовательной установки и температуры наружного охлаждающего воздуха.

На принципиальной блок-схеме предлагаемой автоматической системы регулирования температуры тяговой полупроводниковой преобразовательной установки тягового транспортного средства, представленной на рис. 3, функции всех вычислительных устройств (СУ, УВ, УК) и ЗУ выполняет микропроцессорный контроллер МПК (поз. 25). Предлагаемая автоматическая система регулирования

температуры тяговой полупроводниковой преобразовательной установки тепловоза средства содержит следующие основные элементы: тяговую полупроводниковую преобразовательную установку 26, питаемую напряжением V_1 , установленную в воздуховоде 27, соединенном нагнетательным воздухопроводом 28 с вентилятором охлаждения 23, датчики 18 и 19 температуры T_{11} и T_{12} силовых полупроводниковых приборов 29 и 30, сопротивления нагрузки (например, активно-индуктивного R_n-L_n сопротивления 31 и 32 тяговых электродвигателей), датчик 20 тока нагрузки тяговой полупроводниковой преобразовательной установки, плавно управляемый привод 24 вентилятора охлаждения, питаемый напряжением V_2 , датчик 21 температуры T_2 наружного охлаждающего воздуха, датчик 22 количества охлаждающего воздуха $G_{вз}$ 23 и микропроцессорный контроллер 25.

Зависимости коэффициентов $k_{орт}$, k_p и $k_{рс}$ от количества подаваемого вентилятором охлаждающего воздуха $G_{вз}$ при постоянном коэффициенте k_p (а) и при постоянном коэффициенте $k_{рс}$ (б)

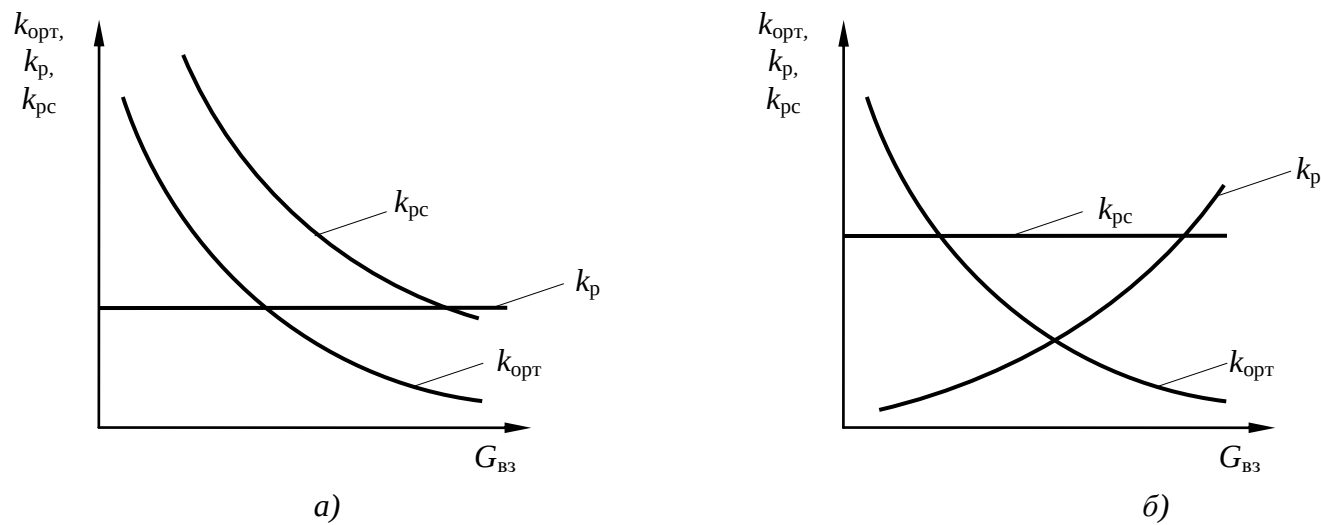


Рис. 2

**Принципиальная схема автоматической системы регулирования температуры
тяговой полупроводниковой преобразовательной установки
тепловоза**

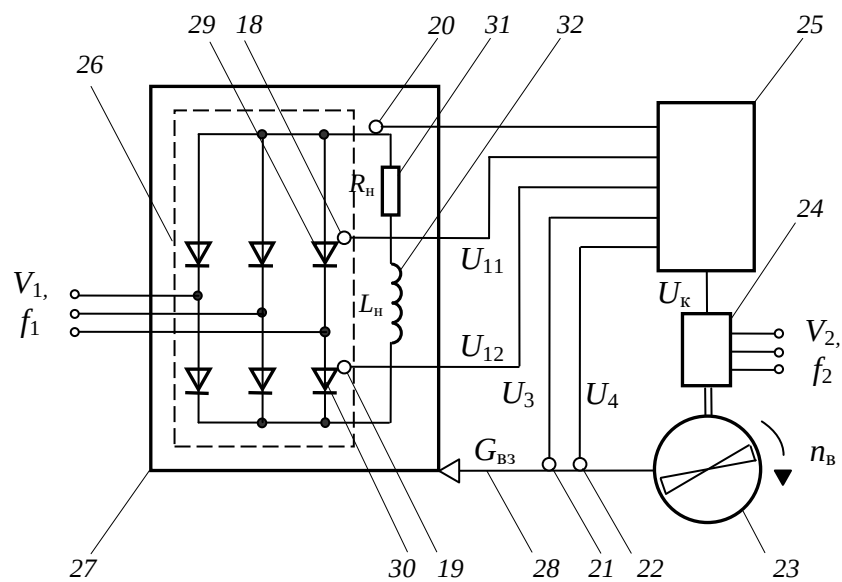


Рис. 3

ПРИМЕР
выполнения задания по разделу
«Решение задач по теории автоматических систем»

В табл. 2. (вторая строка) приведены ординаты реальной экспериментальной переходной кривой $t_d(\tau)$ системы охлаждения диодов тяговой выпрямительной установки типа УВКТ-8 как объекта регулирования температуры (по температуре t_d корпуса диода типа ВЛ200) при скачкообразном уменьшении регулирующего воздействия μ – скорости охлаждающего воздуха - с 19 до 12 м/с, токе тяговой выпрямительной установки 3000А и температуре охлаждающего воздуха 21⁰С.

Рассчитаем экспериментальную нормированную переходную кривую $h(\tau)$ объекта регулирования так, как показано ниже.

При $\tau = 0$ с

$$h(\tau) = \frac{33,20 - 33,20}{40,30 - 33,20} = 0,$$

при $\tau = 40$ с

$$h(\tau) = \frac{33,38 - 33,20}{40,30 - 33,20} = 0,025,$$

при $\tau = 80$ с

$$h(\tau) = \frac{33,83 - 33,20}{40,30 - 33,20} = 0,089 \text{ и так далее,}$$

где $t_d = 33,20^0\text{C}$ – температура диода в момент времени $\tau = 0$ с,

$t_d = 40,30^0\text{C}$ – температура диода в момент времени $\tau = 960$ с и т.д.

Результаты расчетов занесем в третью строку табл. 2.

Построим график экспериментальной нормированной переходной кривой $h(\tau)$ как показано на рис. 4. (линия «эксперимент»). Выберем на этом графике точки A и B с координатами $\tau_A = 200$ с, $h_A = 0,330$ и $\tau_B = 600$ с, $h_B = 0,896$.

Определим значения динамических параметров τ_3 и T в соответствии с выражениями (2) и (3)

$$\tau_3 = \frac{600 \cdot \ln(1 - 0,330) - 200 \cdot \ln(1 - 0,896)}{\ln(1 - 0,330) - \ln(1 - 0,896)} = \frac{212,4}{1,86} \approx 114 \text{ с}$$

$$T = -\frac{200 - 114}{\ln(1 - 0,330)} = \frac{86}{0,4005} \approx 215 \text{ с}.$$

**Аппроксимация экспериментальной переходной временной кривой
решением дифференциального уравнения первого порядка с запаздыванием**

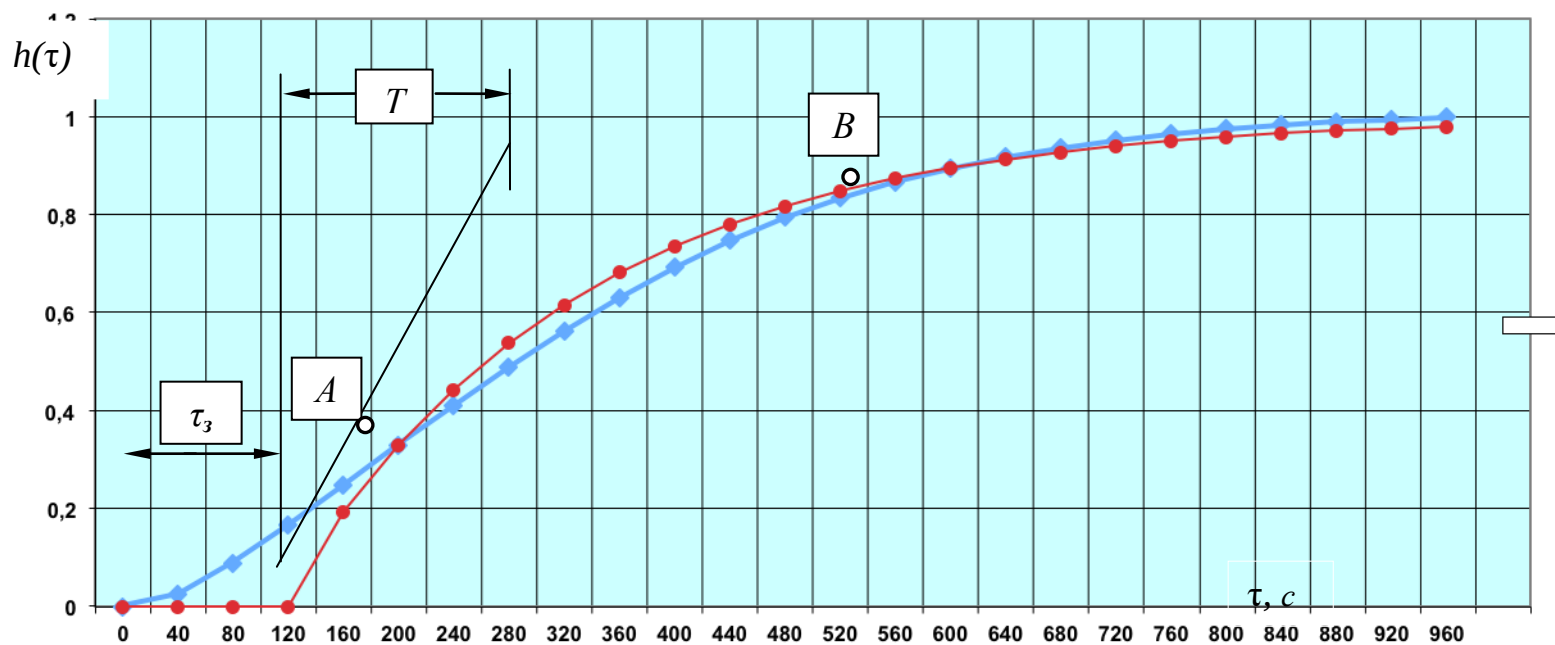


Рис. 4.

Таблица 2.

τ, c	0	40	80	120	160	200	240	280	320
$t_{д}, ^\circ C$	33,20	33,38	33,83	34,38	34,95	35,54	36,12	36,67	37,20
$h(\tau)$	0	0,025	0,089	0,166	0,247	0,330	0,411	0,489	0,563
$h_a(\tau)$	0	0	0	0,028	0,193	0,330	0,443	0,538	0,616
τ, c	360	400	440	480	520	560	600	640	680
$t_{д}, ^\circ C$	37,68	38,12	38,51	38,84	39,13	39,36	39,56	39,72	39,86
$h(\tau)$	0,631	0,693	0,748	0,795	0,835	0,868	0,896	0,919	0,938
$h_a(\tau)$	0,682	0,736	0,780	0,818	0,849	0,874	0,896	0,913	0,928
τ, c	720	760	800	840	880	920	960		
$t_{д}, ^\circ C$	39,97	40,07	40,14	40,19	40,24	40,27	40,30		
$h(\tau)$	0,954	0,967	0,977	0,985	0,991	0,996	1		
$h_a(\tau)$	0,940	0,950	0,959	0,966	0,972	0,976	0,980		

Рассчитаем аппроксимирующую переходную кривую $h_a(\tau)$ и наложим ее на экспериментальную нормированную переходную кривую $h(\tau)$.

Для расчетов используем выражения (4) так, как показано ниже

$$\begin{cases} h_a(\tau) = 0; & 0 \leq \tau \leq 114 c \\ h_a(\tau) = 1 \cdot \left[1 - e^{-\frac{\tau-114}{215}} \right]; & \tau > 114 c \end{cases}$$

Так, при $\tau = 240c$

$$h_a(\tau) = 0,443;$$

при $\tau = 560c$

$$h_a(\tau) = 0,874$$

при $\tau = 920c$

$$h_a(\tau) = 0,976 \text{ и т.д.}$$

На рис. 4 аппроксимирующей переходной кривой соответствуют линии «аппроксимация». Причем в интервале $0 \leq \tau \leq 114 c$ все ординаты равны нулю и линия «аппроксимация» совпадает с осью времени τ .

При $\tau > 114 c$ ординаты ложатся на экспоненту с постоянной времени $T = 215 c$.

В точках A и B экспериментальная нормированная переходная кривая $h(\tau)$ и аппроксимирующая переходная кривая $h_a(\tau)$ должны пересечься.

Рассчитанные значения $h_a(\tau)$ сведем в табл. 2 (четвертая строка).

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Луков Н.М., Космодамианский А.С. Автоматические системы управления локомотивов: Учебник для вузов ж.-д. транспорта – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на ж.-д. транспорте», 2007. – 429 с.
2. Автоматика и автоматические системы локомотивов: Учебное пособие/ А.С.Космодамианский, В.И.Воробьев, А.А.Пугачев, А.Д.Хохлов, Ю.В.Попов, Н.Н.Стрекалов. – М.: РГОТУПС, 2008. – 97 с.
3. Макаров И.М., Менский Б.М. Линейные автоматические системы: Учебное пособие. – М.: Машиностроение, 1982. – 504 с.
4. Луков Н.М. Автоматическое регулирование температуры двигателей. – М.: Машиностроение, 1995. – 271 с.
5. Космодамианский А.С. Автоматика и автоматические системы транспортных машин: учебное пособие для вузов/ А.С.Космодамианский, В.И.Воробьев, А.А.Пугачев, М.И.Борзенков, А.И.Ивахин, Г.П.Жилин, Н.М.Луков. - Орел: ОрелГТУ, 2008. – 104 с.
6. Луков Н.М. Автоматизация тепловозов, газотурбовозов и дизель-поездов. – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.
7. Микропроцессорные системы автоматического регулирования электропередачи тепловозов: Учебное пособие для студентов вузов ж.-д. трансп./ Под ред. А.В.Грищенко. – М.: Маршрут, 2004. – 172 с.
8. Космодамианский А.С. Автоматическое регулирование температуры обмоток тяговых электрических машин локомотивов: Монография. – М.: Маршрут, 2005. – 256 с.