

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра автоматизации производственных процессов  
и электротехники**

# **ТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ**

**Программа, методические указания и контрольные  
задания для студентов заочной формы обучения  
специальности 1-53 01 01 «Автоматизация  
технологических процессов и производств»**

Минск 2011

УДК 681.5(075.3)  
ББК 32.965я75  
Т38

Рассмотрены и рекомендованы к изданию редакционно-издательским советом университета

Составители:  
*Ю. А. Байда, В. В. Сарока*

Научный редактор  
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой  
автоматизации производственных процессов  
и электротехники БГТУ *Д. С. Карпович*

Рецензент  
кандидат технических наук, доцент кафедры  
информационных систем и технологий БГТУ *Н. Н. Пустовалова*

По тематическому плану изданий учебно-методической литературы университета на 2011 год. Поз. 130.

Предназначены для студентов заочной формы обучения специальности 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств».

© УО «Белорусский государственный  
технологический университет», 2011

# ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация производства – один из важнейших факторов роста производительности труда и повышения качества продукции. Непременным условием ускорения темпов роста автоматизации является подготовка специалистов, владеющих знаниями современных технических устройств автоматизации и способных обеспечить реализацию современных автоматизированных систем управления технологическими процессами любой сложности, их квалифицированную наладку и эффективную эксплуатацию в процессе функционирования. Такие познания дает дисциплина «Технические устройства автоматизации».

Цель дисциплины – теоретическая и практическая подготовка инженеров по автоматизации в области технических устройств автоматизации, знающих принципы построения Государственной системы промышленных приборов и средств автоматизации, типовые технические структуры и средства автоматизированных систем управления технологическими процессами, принципы технической реализации алгоритмов регулирования, электрические и пневматические агрегатные комплексы технических устройств автоматизации, принципы работы и конструкции устройств промышленной автоматики и средств защиты автоматических систем и технологических процессов.

Задача дисциплины заключается в том, чтобы выпускник мог выполнять расчетно-конструкторские работы по выбору, созданию и внедрению в эксплуатацию технических устройств автоматизации с заданными характеристиками в составе автоматических и автоматизированных систем управления технологическими процессами.

В результате изучения дисциплины выпускник должен знать:

- 1) принципы технической реализации алгоритмов управления;
- 2) комплексы технических устройств пневматической ветви;
- 3) комплексы технических устройств электрической ветви;
- 4) состав и основы выбора исполнительных механизмов.

Кроме того, студент должен уметь:

- выбирать регуляторы;
- рассчитывать исполнительные механизмы;
- вычислять характеристики регулирующих органов;
- рассчитывать устройства сопряжения исполнительных механизмов с регулируемыми органами.

# **1. ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

## **1.1. Введение**

Задачи автоматизации народного хозяйства Республики Беларусь и значение технических устройств автоматизации в их реализации.

Основные этапы и тенденции развития технических устройств автоматизации (ТУА).

## **1.2. Структура и функциональный состав технических устройств автоматизации**

Стандартизация технических устройств автоматизации, агрегирование и унификация. Иерархическая структура Государственной системы промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП). Функциональная структура ГСП.

## **1.3. Основные требования к техническим характеристикам устройств автоматизации**

Требования к составу устройств автоматизации. Требования к точности реализации алгоритмов управления. Требования к надежности технических устройств автоматизации. Требования простоты обслуживания.

## **1.4. Типовые структуры автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) и состав технических устройств автоматизации**

Обобщенная структура АСУ ТП. Принципы технической реализации АСУ ТП. Структура и характеристика технических устройств автоматизации АСУ ТП. Области применения ветвей технических устройств для автоматизации технологических процессов.

## **1.5. Принципы технической реализации алгоритмов автоматического регулирования**

Обобщенная техническая структура типовой системы автоматического регулирования (САР). Принципы и схемы технической реализации типовых алгоритмов регулирования. Принцип действия релейно-импульсного регулятора, его структурные схемы и функциональный состав элементов для его построения.

Структурные схемы аналогового регулирующего блока с непрерывным выходным сигналом и функциональный состав элементов для его реализации. Схемы реализации двух- и трехпозиционных законов регулирования.

## **1.6. Электрические технические устройства автоматизации**

Электрические устройства для коммутации силовых цепей систем автоматизации. Электрические устройства для коммутации цепей управления. Электромеханические коммутационные устройства. Бесконтактные коммутационные устройства. Устройства автоматической токовой и тепловой защиты. Устройства автоматической сигнализации. Логические устройства электроавтоматики.

## **1.7. Агрегатные комплексы электрических устройств автоматизации**

Общая характеристика агрегатных комплексов. Сигналы электрической дистанционной связи агрегатных комплексов. Функциональный состав и технические характеристики приборов комплексов.

Устройства статического преобразования информации. Устройства динамического преобразования информации. Типовые структурные схемы промышленных регуляторов.

Динамические характеристики регуляторов с нелинейными элементами и режимы их работы. Скользящий режим работы регулятора.

Устройства оперативного управления агрегатных комплексов.

## **1.8. Электрические исполнительные механизмы ГСП**

Электромагнитные исполнительные механизмы: устройство и принцип работы электромагнитных устройств постоянного и переменного токов, технические характеристики, статические и динамические характеристики электромагнитных устройств.

Электродвигательные исполнительные механизмы: назначение, классификация, конструктивный состав, техническая характеристика, динамические свойства, выбор исполнительных механизмов.

Пусковые устройства электрических исполнительных механизмов: активные и пассивные сигналы управления, способы управления, контактные и бесконтактные пусковые устройства, схемы включения электрических исполнительных механизмов пусковыми устройствами.

## **1.9. Регулирующие органы автоматических систем**

Дроссельные запорно-регулирующие органы: назначение, классификация, принцип работы, устройство и особенности применения, расчет и выбор форм расходной и пропускной характеристик, определение коэффициента передачи регулирующих органов.

### **1.10. Сочленение исполнительных механизмов с дроссельными регулирующими органами**

Статические характеристики сочленения, определение крутящего момента на рычаге регулирующего органа; непосредственное, прямое и обратное сочленение исполнительного механизма с регулирующим органом.

### **1.11. Типовые схемы систем управления электрическими исполнительными механизмами**

Классификация систем управления. Системы управления электромагнитными исполнительными механизмами. Системы управления электродвигательными исполнительными механизмами с реле максимального тока. Системы управления исполнительными механизмами с электромеханической муфтой одностороннего действия.

Системы управления исполнительными механизмами с электро-механической муфтой двухстороннего действия.

### **1.12. Пневматические технические устройства автоматизации**

Обзор развития технических устройств пневмоавтоматики.

Техническая структура пневматической системы автоматического регулирования. Измерительные преобразователи для пневматических систем регулирования. Функциональный состав и принцип действия устройств универсальной системы элементов промышленной пневмоавтоматики (УСЭППА). Схемы реализации основных законов регулирования на элементах УСЭППА: позиционные, пропорциональные (П), пропорционально-интегральные (ПИ), пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД) пневморегуляторы. Пневматические исполнительные механизмы: мембранные и поршневые исполнительные механизмы; пневмопроводы. Принципы построения пневматических систем управления. Струйная пневмоавтоматика. Аэродинамические эффекты, используемые при построении элементов струйной техники (пневмоники). Устройства пневмоники (аналоговые и дискретные элементы). Элементы струйно-мембранной техники.

### **1.13. Технические устройства гидроавтоматики**

Специфика гидравлических устройств регулирования. Устройства гидроавтоматики: дроссели, преобразователи перемещения силы в давление, сумматоры, интеграторы, дифференциаторы, гидроклапаны, гидрораспределители. Схемы реализации линейных алгоритмов регулирования. Гидравлические исполнительные механизмы. Комбинированные электрогидравлические регуляторы. Построение гидравлических систем управления.

### **1.14. Надежность технических устройств автоматики**

Основные понятия и определения. Показатели надежности изделий. Характеристики надежности восстанавливаемых устройств. Расчет надежности. Пути повышения надежности.

## 2. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Дисциплина «Технические устройства автоматизации» изучается студентами путем ознакомления с рекомендуемыми литературными источниками. Полученные знания закрепляются при выполнении контрольных и лабораторных работ.

Курс необходимо изучать в той последовательности, которая соответствует рабочей программе. Если при изучении дисциплины или выполнении контрольной работы у студента возникнут вопросы, он может получить консультацию на кафедре автоматизации производственных процессов и электротехники. Объем требований на экзамене определяется приведенной программой.

Сроки сдачи контрольной работы оговариваются в учебных планах специальности.

Контрольная работа включает основные разделы курса.

Решение каждой задачи должно включать исходные данные, методику расчетов, схемы и графики.

Выбор варианта задачи производится следующим образом. Для задачи № 1 вариант определяется по двум последним цифрам номера зачетной книжки студента. Когда число превышает количество вариантов, надо взять сумму двух последних цифр номера зачетной книжки.

Для задач № 2, 3, 4 номер варианта находится по двум последним цифрам номера зачетной книжки студента. Первая из них определяет первую часть задания, вторая – последующую.



## 3. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

### Задача № 1. Расчет электромагнитного реле

Рассмотрим электромагнитное реле. Параметры типовых реле приведены в табл. 3.1.

Необходимо:

1. Определить постоянную времени реле  $T$ .
2. Рассчитать и построить график изменения во времени тока нарастания и тока снижения реле для значений  $t = (0; 0,1; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0)T$ .
3. Указать на графике значения тока срабатывания и тока отпускания реле и определить время срабатывания и время отпускания.
4. Вычислить значения коэффициентов запаса и возврата реле по току.

#### Указания к задаче № 1

Постоянная времени реле численно равна отношению индуктивности к сопротивлению обмотки реле:

$$T = \frac{L}{R}, \quad (3.1)$$

где  $T$  – постоянная времени, с;  $L$  – индуктивность, Гн;  $R$  – сопротивление, Ом.

Изменение тока в обмотке при включении реле описывается следующим дифференциальным уравнением:

$$U = iR + L \frac{di}{dt}, \quad (3.2)$$

где  $U$  – напряжение питания, В;  $i$  – текущее значение тока, А;  $t$  – время, с.

Решение последнего уравнения относительно тока приводит к экспоненциальному закону нарастания тока в обмотке реле при включении:

$$i_{\text{н}}(t) = I_{\text{уст}} \left( 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right), \quad (3.3)$$

где  $I_{\text{уст}}$  – установившееся значение тока, определяемое по закону Ома, А.

Таблица 3.1

## Исходные данные к задаче № 1

Показатели	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номинальное напряжение $U$ , В	24	48	48	48	60	60	220	220	220	220
Сопротивление обмотки $R$ , Ом	500	400	400	190	2300	1900	2000	600	600	1000
Ток срабатывания $I_{ср}$ , А	0,03	0,08	0,07	0,10	0,02	0,02	0,08	0,30	0,25	0,20
Ток отпускания $I_{от}$ , А	0,02	0,05	0,04	0,08	0,01	0,15	0,06	0,20	0,15	0,15
Индуктивность обмотки $L$ , Гн	25	40	20	20	50	30	100	30	26	40
Показатели	Номер варианта									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Номинальное напряжение $U$ , В	24	24	24	48	48	48	48	48	48	60
Сопротивление обмотки $R$ , Ом	300	400	500	210	190	300	360	400	410	1500
Ток срабатывания $I_{ср}$ , А	0,05	0,04	0,03	0,16	0,18	0,10	0,10	0,07	0,08	0,02
Ток отпускания $I_{от}$ , А	0,03	0,02	0,02	0,09	0,10	0,06	0,06	0,04	0,05	0,01
Индуктивность обмотки $L$ , Гн	27	35	40	25	20	30	36	20	40	45
Показатели	Номер варианта									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Номинальное напряжение $U$ , В	60	60	60	60	60	110	110	110	110	110
Сопротивление обмотки $R$ , Ом	800	1100	2300	2100	1900	1000	330	300	500	600
Ток срабатывания $I_{ср}$ , А	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,08	0,20	0,25	0,18	0,10
Ток отпускания $I_{от}$ , А	0,03	0,02	0,01	0,01	0,015	0,05	0,15	0,16	0,10	0,07
Индуктивность обмотки $L$ , Гн	27	35	50	60	30	60	36	30	50	55

На рис. 3.1 показана кривая нарастания тока, на которой нанесена точка, соответствующая току срабатывания и времени срабатывания реле.

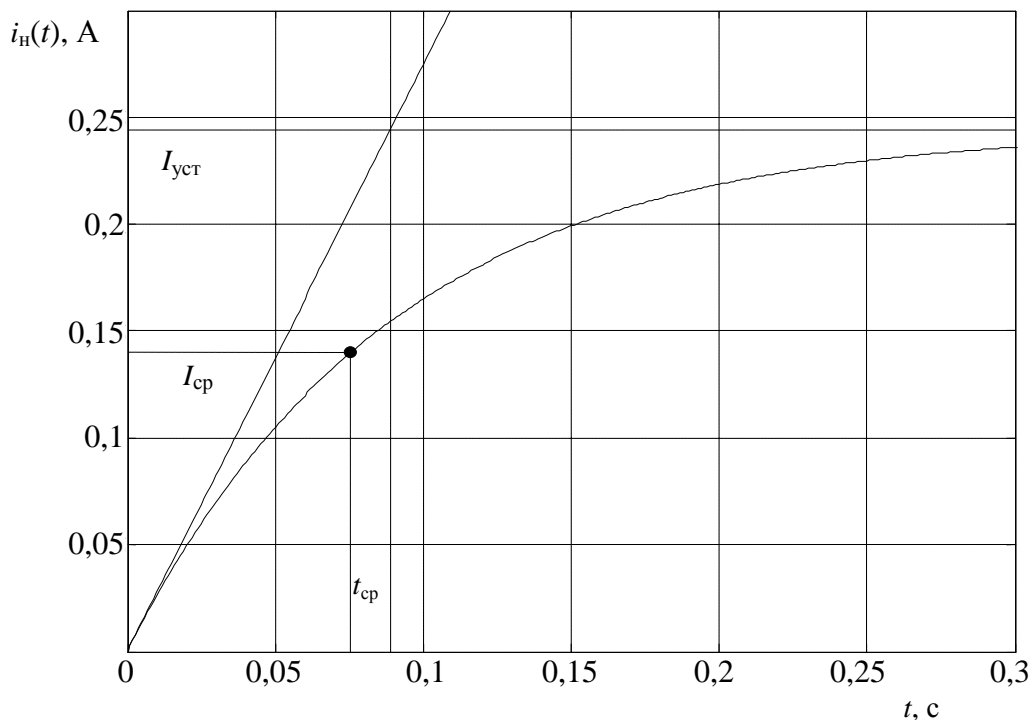


Рис. 3.1. Кривая нарастания тока в обмотке реле при включении

Касательная к кривой нарастания тока в начале координат отсекает на прямой, соответствующей установившемуся значению тока, отрезок, равный постоянной времени.

Продолжительность переходного процесса можно оценить из выражения

$$t_{уст} = 3T. \quad (3.4)$$

При отключении питания дифференциальное уравнение изменения тока в обмотке реле приобретает следующий вид:

$$0 = iR + L \frac{di}{dt}. \quad (3.5)$$

Решение этого уравнения относительно тока приводит к закону снижения тока в обмотке реле при отключении питания:

$$i_c(t) = I_{уст} e^{-\frac{t}{T}}. \quad (3.6)$$

На рис. 3.2 приведен график зависимости снижения тока в обмотке реле при выключении от времени. На кривой снижения тока показана точка, соответствующая току отпускания и времени отпускания реле.

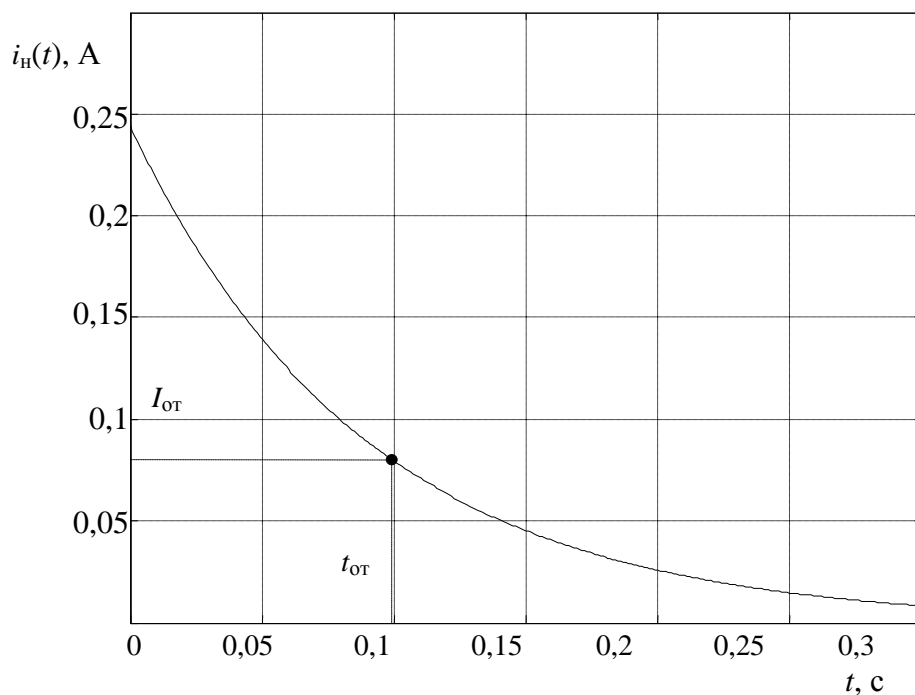


Рис. 3.2. Кривая снижения тока в обмотке реле при выключении

Результаты расчетов тока нарастания и тока снижения рекомендуется представить в виде табл. 3.2.

Таблица 3.2

**Результаты расчетов тока нарастания и тока снижения**

$\frac{t}{T}$	$e^{-\frac{t}{T}}$	$1 - e^{-\frac{t}{T}}$	$I_{\text{вкл}}$	$I_{\text{откл}}$
0,1				
0,5				
1,0				
2,0				
3,0				

Коэффициент запаса реле находится из следующего соотношения:

$$K_3 = \frac{I_{\text{уст}}}{I_{\text{сп}}}. \quad (3.7)$$

Коэффициент возврата реле по току вычисляется по формуле

$$K_I = \frac{I_{\text{от}}}{I_{\text{сп}}}. \quad (3.8)$$

## Задача № 2. Выбор аппаратов управления и защиты

В задаче требуется выбрать аппараты управления и защиты и рассчитать сечения проводов схемы электропитания системы автоматизации, приведенной на рис. 3.3.

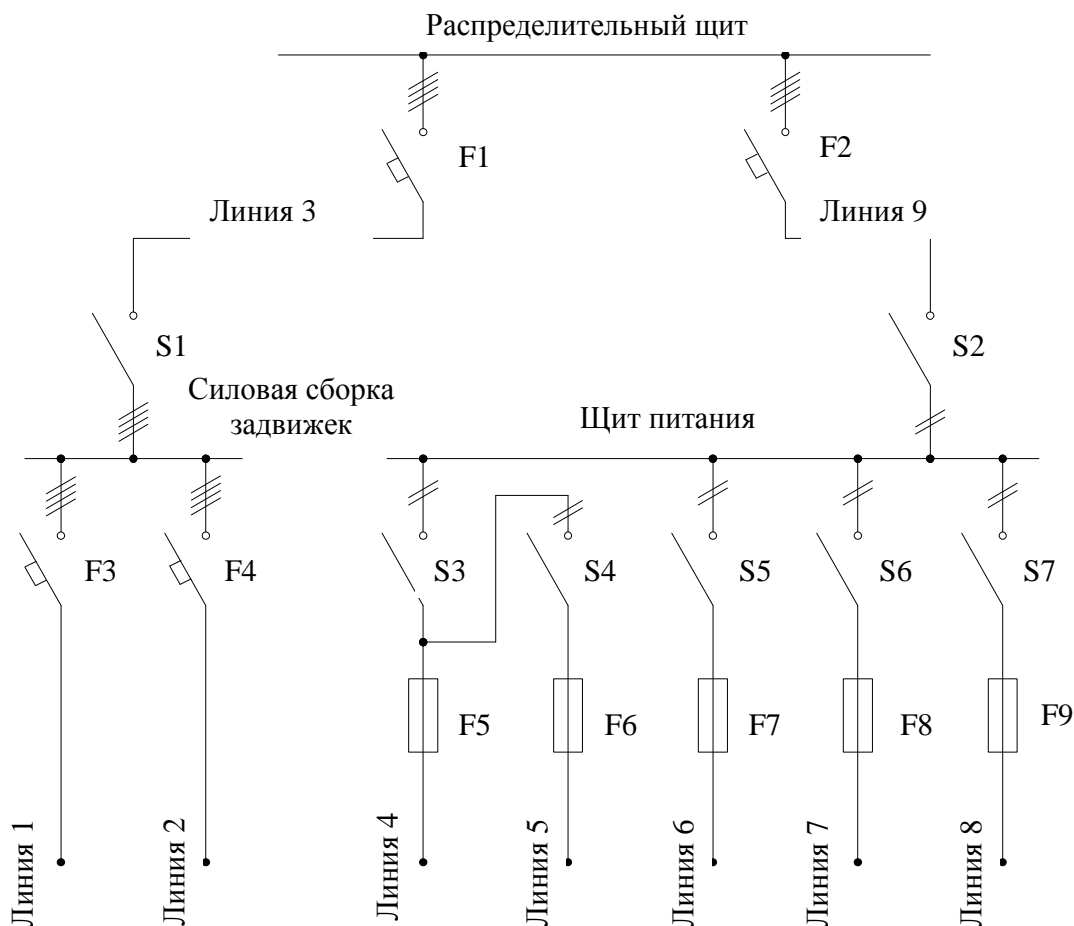


Рис. 3.3. Принципиальная электрическая схема питания установки автоматизации

От шин распределительного щита получают питание силовая сборка задвижек и щит питания. К силовой сборке задвижек и к щиту питания подключены электроприемники, технические характеристики которых представлены в табл. 3.3 для соответствующего варианта. Все электроприемники установлены в щитах, которые находятся в помещении с нормальной средой.

Электропроводку следует выполнять проводами с алюминиевыми или медными жилами (по выбору), проложенными в защитных трубах.

Исходные данные к задаче № 2

Номер линии	Первая цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	A2-61-4, $N_H =$ $= 13\,000 \text{ Вт},$ $I_H = 25,3 \text{ А}$	A2-62-4, $N_H =$ $= 17\,000 \text{ Вт},$ $I_H = 32,7 \text{ А}$	AO2-41-4, $N_H =$ $= 4\,000 \text{ Вт},$ $I_H = 8,3 \text{ А}$	AO2-42-4, $N_H =$ $= 5\,500 \text{ Вт},$ $I_H = 11,1 \text{ А}$	AO2-42-4, $N_H =$ $= 5\,500 \text{ Вт},$ $I_H = 11,1 \text{ А}$	AO2-52-4, $N_H =$ $= 10\,000 \text{ Вт},$ $I_H = 19,7 \text{ А}$	AO2-61-4, $N_H =$ $= 13\,000 \text{ Вт},$ $I_H = 25 \text{ А}$	AO2-62-4, $N_H =$ $= 17\,000 \text{ Вт},$ $I_H = 32,6 \text{ А}$	AO2-71-4, $N_H =$ $= 22\,000 \text{ Вт},$ $I_H = 41,2 \text{ А}$	AO2-62-4, $N_H =$ $= 17\,000 \text{ Вт},$ $I_H = 32,5 \text{ А}$
2	AO2-41-4, $N_H =$ $= 4\,000 \text{ Вт},$ $I_H = 8,3 \text{ А}$	АОЛ-2-32, $N_H =$ $= 3\,000 \text{ Вт},$ $I_H = 6,5 \text{ А}$	A2-62-4, $N_H =$ $= 17\,000 \text{ Вт},$ $I_H = 32,7 \text{ А}$	A2-61-4, $N_H =$ $= 13\,000 \text{ Вт},$ $I_H = 25,3 \text{ А}$	AO2-62-4, $N_H =$ $= 17\,000 \text{ Вт},$ $I_H = 32,6 \text{ А}$	AO2-51-4, $N_H =$ $= 13\,000 \text{ Вт},$ $I_H = 25 \text{ А}$	AO2-52-4, $N_H =$ $= 10\,000 \text{ Вт},$ $I_H = 19,7 \text{ А}$	AO2-51-4, $N_H =$ $= 75\,000 \text{ Вт},$ $I_H = 14,8 \text{ А}$	АОЛ-31-4, $N_H =$ $= 2\,200 \text{ Вт},$ $I_H = 4,9 \text{ А}$	AO2-42-4, $N_H =$ $= 5\,500 \text{ Вт},$ $I_H = 11,1 \text{ А}$
4	МЭО- 160/100, $N =$ $= 400 \text{ ВА}$	МЭО- 400/100, $N =$ $= 750 \text{ ВА}$	МЭО- 25/40, $N =$ $= 300 \text{ ВА}$	МЭО- 63/40, $N =$ $= 585 \text{ ВА}$	МЭО- 63/100, $N =$ $= 250 \text{ ВА}$	МЭО- 160/100, $N =$ $= 550 \text{ ВА}$	МЭО- 400/250, $N =$ $= 450 \text{ ВА}$	МЭО- 400/250к, $N =$ $= 400 \text{ ВА}$	МЭО- 63/250, $N =$ $= 585 \text{ ВА}$	МЭО- 10/40, $N =$ $= 102 \text{ ВА}$
5	2ТРМ0, $N = 7 \text{ ВА},$ 6 штук	ТРМ1, $N = 7 \text{ ВА},$ 7 штук	2ТРМ1, $N = 7 \text{ ВА},$ 5 штук	ТРМ202, $N = 10 \text{ ВА},$ 5 штук	ТРМ101, $N = 10 \text{ ВА},$ 1 штука	ТРМ212, $N = 10 \text{ ВА},$ 5 штук	ТРМ148, $N = 20 \text{ ВА},$ 2 штуки	ТРМ132М, $N = 12 \text{ ВА},$ 5 штук	ТРМ133М, $N = 12 \text{ ВА},$ 4 штуки	ТРМ251, $N = 6 \text{ ВА},$ 11 штук

Номер линии	Вторая цифра варианта									
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
6	PMT39DM, N = 35 ВА	PMT69L, N = 30 ВА	PMT59, N = 65 ВА	РП160М50, N = 30 ВА	РП160М70, N = 35 ВА	PMT39, N = 30 ВА	Метран-900, N = 60 ВА	Мемограф, N = 25 ВА	Экограф, N = 50 ВА	Ш9329, N = 25 ВА
7	PMT69L, N = 30 ВА	PMT59, N = 65 ВА	РП160М50, N = 30 ВА	РП160М70, N = 35 ВА	PMT39, N = 30 ВА	Метран-900, N = 60 ВА	Мемограф, N = 25 ВА	Экограф, N = 50 ВА	Ш9329, N = 25 ВА	PMT39DM, N = 35 ВА
8	11 реле, N = = 110 ВА, 10 ламп, N = 100 Вт	12 реле, N = = 120 ВА, 8 ламп, N = 80 Вт	8 реле, N = 80 ВА, 12 ламп, N = 120 Вт	15 реле, N = = 150 ВА, 10 ламп, N = 100 Вт	10 реле, N = = 100 ВА, 15 ламп, N = 150 Вт	9 реле, N = 90 ВА, 8 ламп, N = 80 Вт	13 реле, N = 130 ВА, 12 ламп, N = 120 Вт	14 реле, N = = 140 ВА, 15 ламп, N = 150 Вт	10 реле, N = = 100 ВА, 11 ламп, N = 110 Вт	7 реле, N = 70 ВА, 13 ламп, N = 130 Вт
В ли- нии 8 одно- вре- менно рабо- тают	6 реле, 5 ламп	6 реле, 4 лампы	4 реле, 6 ламп	7 реле, 5 ламп	5 реле, 7 ламп	4 реле, 4 лампы	6 реле, 6 ламп	7 реле, 7 ламп	5 реле, 6 ламп	4 реле, 7 ламп
В ли- нии 8 одно- вре- менно вклю- чаются	2 реле, 2 лампы	3 реле, 2 лампы	2 реле, 2 лампы	2 реле, 1 лампа	2 реле, 3 лампы	2 реле, 2 лампы	3 реле, 6 ламп	3 реле, 1 лампа	1 реле, 3 лампы	2 реле, 4 лампы

## Выбор аппаратов управления

1. Определяются длительные и кратковременные расчетные токи линий по формулам (3.9)–(3.11).

2. По размеру расчетных токов линий производится выбор аппаратов управления и защиты, согласно рис. 3.3 (см. на с. 13), а для линий 1 и 2 также выбираются магнитные пускатели.

3. Осуществляется выбор сечений проводников по размеру расчетных токов линий.

Если известны номинальные мощности электроприемников, то их номинальные токи могут быть рассчитаны по следующим соотношениям:

– для трехфазных электроприемников переменного тока

$$I = \frac{1000N}{1,73U_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta}; \quad (3.9)$$

– для однофазных электроприемников, присоединенных к одной фазе сети трехфазного тока

$$I = \frac{1000N}{U_{н.ф}}; \quad (3.10)$$

– для электроприемников постоянного тока

$$I = \frac{1000P}{U_n}, \quad (3.11)$$

где  $N$  ( $P$ ) – номинальная мощность электроприемника, или группы, кВА, (кВт);  $U_n$  ( $U_{н.ф}$ ) – номинальное (фазное) напряжение электроприемника, В;  $\cos \varphi$  – коэффициент мощности (для двигателей привода задвижек принимается 0,88–0,90);  $\eta$  – КПД электродвигателя, равный 0,70–0,85.

## Выбор рубильников, пакетных выключателей, тумблеров

Выбор этой аппаратуры производится:

1) по номинальному напряжению сети

$$U_n > U_{н.сети},$$

где  $U_n$  – номинальное напряжение рубильника, пакетного выключателя, тумблера, В;  $U_{н.сети}$  – номинальное напряжение сети, В;



2) по длительному расчетному току цепи

$$I_n \geq I_{дл},$$

где  $I_n$  – номинальный ток аппарата, А;  $I_{дл}$  – длительный расчетный ток цепи, А.

С помощью табл. 3.4 определяется тип выключателя.

Таблица 3.4

### Выключатели пакетные

Наименование	Тип	Номинальный ток, А			
		при 110 В постоянного тока	при 220 В постоянного тока	при 220 В переменного тока	при 380 В переменного тока
Выключатели двухполюсные SPAMEL	SK10	6	5	10	6,3
	SK20	8	6	16	16
	SK16	10	8	20	40
	SK25	13	10	25	63
	SK32	16	12	32	75
	SK40	20	15	40	86
	SK63	30	25	63	94
	SK100	40	30	80	100
Наименование	Тип	Номинальный ток, А			
		при 415 В переменного тока	при 500 В переменного тока	при 690 В переменного тока	
Выключатели трехполюсные с ручкой Iskra MIS	BSC16	16	16	16	
	BSC25	25	25	25	
	BSC32	32	32	32	
	BSC40	40	40	40	
	BSCM63	63	63	63	
	BSCM80	80	80	80	
	BSCM100	100	100	100	
	BSCM125	125	125	125	

### Выбор магнитных пускателей

Выбор пускателей производится:

– по номинальному напряжению сети

$$U_{н. пуск} = U_{н. сети},$$

где  $U_{н. пуск}$  – номинальное напряжение катушки пускателя, В;

– по мощности электродвигателя исполнительного механизма или задвижки.

В табл. 3.5 приведены некоторые типы пускателей Iskra MIS и номинальные мощности управляемых электродвигателей.

Таблица 3.5

**Магнитные пускатели Iskra MIS**

Тип пускателя	Номинальная мощность, кВт, управляемого электродвигателя при $U = 400$ В
K03C	1,5
KNL9	4
KNL12	5,5
KNL16	7,5
KNL18	9
KNL22	11
KNL30	15
KNL43	22
KNL63	30

**Выбор предохранителей**

В схемах электропитания систем автоматизации применяются предохранители с малой тепловой инерцией, которые выбираются с соблюдением следующих условий:

- 1) по номинальному напряжению сети

$$U_{н. пред} \geq U_{н. сети},$$

где  $U_{н. пред}$  – номинальное напряжение предохранителя, В;

- 2) по длительному расчетному току линии

$$I_{н. вст} \geq I_{н. дл},$$

где  $I_{н. вст}$  – номинальный ток плавкой вставки, А;  $I_{н. дл}$  – длительный расчетный ток линии, А.

В цепях управления и сигнализации плавкие вставки выбираются по соотношению

$$I_{н. вст} \geq \sum I_p + 0,1 \sum I'_{вкл}, \quad (3.12)$$

где  $\sum I_p$  – наибольший суммарный ток, потребляемый катушками аппаратов, сигнальными лампами при одновременной работе, А;  $I'_{вкл}$  – наибольший суммарный ток, потребляемый при включении одновременно включаемых аппаратов, А.

**Пример.** Допустим, что в цепи одновременно работают 2 реле и 5 ламп. Ток через реле  $I = 0,04$  А, ток через лампу  $I = 0,06$  А. Тогда получим

$$\sum I_p = 0,04 \cdot 2 + 0,06 \cdot 5 = 0,38 \text{ А.}$$

Одновременно могут быть включены 1 реле и 2 лампы. Тогда имеем

$$\sum I'_{\text{вкл}} = 0,04 \cdot 1 + 0,06 \cdot 2 = 0,16 \text{ А.}$$

По формуле (3.12) определяем номинальный ток плавкой вставки

$$I_{\text{н. вст}} \geq 0,38 + 0,1 \cdot 0,16 \geq 0,396 \text{ А.}$$

По табл. 3.6 выбираем тип предохранителя с током плавкой вставки, равным 0,4 А, округляя значение в большую сторону.

Таблица 3.6

### Предохранители трубчатые Ferraz Shawmut

Значения тока плавкой вставки, А, при $U = 250$ В	Значения тока плавкой вставки, А, при $U = 250$ В
0,063	1,25
0,08	1,6
0,1	2
0,125	2,5
0,16	3,15
0,2	4
0,25	5
0,315	6,3
0,4	8
0,5	10
0,63	12,5
0,8	16
1	20

## Выбор автоматических выключателей

Выбор данной аппаратуры производится по номинальному напряжению и току с соблюдением следующих условий:

$$U_{\text{н. а}} \geq U_{\text{н. сети}},$$

$$I_{\text{н. а}} \geq I_{\text{дл}},$$

где  $U_{\text{н. а}}$  – номинальное напряжение автомата, В;  $I_{\text{н. а}}$  – номинальный ток автомата, А.

Кроме того, должны быть правильно выбраны:

- номинальный ток расцепителей –  $I_{н. расц}$ ;
- ток уставки электромагнитного расцепителя –  $I_{уст. элм}$ ;
- номинальный ток уставки теплового расцепителя –  $I_{н. уст. тепл}$ .

Номинальный ток расцепителей должен быть не меньше номинального тока двигателя:

$$I_{н. расц} \geq I_{н. дв.}$$

Ток уставки электромагнитного расцепителя (отсечки) принимается равным

$$I_{уст. элм} \geq 1,25I_{пуск},$$

где  $I_{пуск}$  – пусковой ток двигателя, А.

Для группы электродвигателей

$$I_{уст. элм} \geq 1,25 \left( \sum I_{н. дв} + I'_{пуск} \right), \quad (3.13)$$

где  $\sum I_{н. дв}$  – сумма номинальных токов одновременно работающих двигателей, А;  $I'_{пуск}$  – пусковой ток двигателя, дающего наибольший прирост пускового тока, рассчитываемый по следующей формуле:

$$I'_{пуск} = K_{п} I_{н. дв}, \quad (3.14)$$

где  $K_{п}$  – кратность пускового тока (для электродвигателей привода задвижек  $K_{п} = 7$ ).

**Пример.** Необходимо выбрать автоматический выключатель и его уставки для группы двигателей, имеющих  $I_{н1} = 32,5$  А,  $I_{н2} = 14,8$  А. Пусковые токи будут равны соответственно:

$$I_{пуск1} = 32,5 \cdot 7 = 228 \text{ А};$$

$$I_{пуск2} = 14,8 \cdot 7 = 104 \text{ А}.$$

По формуле (3.13) находим

$$I_{уст. элм} \geq 1,25(I_{н2} + I_{пуск1}) \geq 1,25 \cdot 242,8 \geq 304 \text{ А}.$$

Выбираем по табл. 3.7 автоматический выключатель АП50Б-3МТ.  $I_{н. расц} = 50$  А, из условия  $I_{н. расц} \geq I_{н. дв} \geq 47,3$  А. Определяем ток отсечки:

$$\frac{I_{уст. элм}}{I_{н. расц}} = \frac{304}{50} = 6,1.$$

Принимаем  $I_{уст. элм} = 8I_{н. расц}$ . Номинальный ток теплового расцепителя больше либо равен номинальному току двигателя. Получаем  $I_{н. уст. тепл} = 48$  А.

Таблица 3.7

**Автоматы типа АП50Б ( $U = 380 В$ )**

Тип автомата	Обозначение исполнения автоматов	Номинальные токи фазных расцепителей максимального тока, А	Токи отсечки (мгновенного срабатывания), А
АП50Б	2МТ	1,6; 2,5; 4; 6,3	$3,5I_H$
	3МТ	10, 16, 25, 40, 50	$8I_H$
	3Т	63, 75, 80	$11I_H$
	2М	87, 90, 97	$12,4I_H$
	3М	100, 103, 111	$14,2I_H$

Расцепители защиты от сверхтоков, применяемые в выключателях АП50Б, бывают следующие: тепловой (биметаллический) максимальный расцепитель (обозначение Т); электромагнитный максимальный расцепитель (обозначение М); комбинированный (обозначение МТ). Число полюсов определяется цифрой (2 или 3) перед обозначением исполнения автомата.

**Выбор сечений проводников**

Сечения проводников питающей и распределительной сетей системы электропитания установок автоматизации должны выбираться по условиям нагревания электрическим током по допустимым токовым нагрузкам на провода и кабели с учетом прокладки (табл. 3.8).

Таблица 3.8

**Длительные допустимые токовые нагрузки проводов с резиновой и полихлорвиниловой изоляцией**

Сечение токопроводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Токовые нагрузки, А		
	Провода, проложенные в одной трубе		
	два одножильных	четыре одножильных	один двухжильный
<i>С алюминиевыми жилами</i>			
2,5	20	19	19
4	28	23	25
6	36	30	31
10	50	39	42
16	60	55	60
<i>С медными жилами</i>			
1	16	14	15

Сечение токопроводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Токовые нагрузки, А		
	Провода, проложенные в одной трубе		
	два одножильных	четыре одножильных	один двухжильный
1,5	19	16	18
2,5	27	25	25
4	38	30	32
6	46	40	40
10	70	50	55
16	85	75	80

### Задача № 3. Расчет надежности элементов системы

Теория надежности изучает работу систем и устройств с учетом влияния внешних и внутренних воздействий с целью определения характеристик надежности и выработки методов расчета и способов обеспечения нормального функционирования.

Под термином «надежность» понимают свойство системы выполнять все заданные функции при определенных условиях эксплуатации в течение заданного времени с сохранением значений основных параметров в заранее установленных пределах.

Задачей расчета надежности является определение вероятности безотказной работы  $P(t)$  и средней наработки до отказа  $T_{\text{ср}}$ .

Вероятность безотказной работы  $P(t)$  – вероятность того, что в заданном интервале времени не возникает отказ средств автоматизации.

Интенсивность отказов  $\lambda(t)$  – вероятность отказа неремонтируемых средств автоматизации в единицу времени при условии, что отказ до этого момента не возник.

В период нормальной работы интенсивность отказов почти постоянна, т. е.  $\lambda(t) = \text{const}$ . Вероятность безотказной работы может быть определена интенсивностью отказов с помощью следующей зависимости:

$$P(t) = e^{-\Lambda t}, \quad (3.15)$$

где  $\Lambda$  – интенсивность отказов системы, состоящей из отдельных элементов, 1/ч.

Средняя наработка до первого отказа – среднее значение наработки изделий в партии до первого отказа:

$$T_{\text{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}, \quad (3.16)$$

или

$$T_{\text{cp}} = \frac{1}{\Lambda}, \quad (3.17)$$

где  $t_i$  – время исправной работы  $i$ -го элемента;  $n$  – число элементов в партии.

Элемент расчета надежности – устройство (деталь, элемент, прибор, система), учитываемое при расчете надежности как отдельная самостоятельная часть, имеющая свой общий количественный показатель надежности.

При расчете надежности система (схемы автоматического регулирования, контроля, управления, регуляторы, приборы и т. д.) расчленяется на отдельные элементы, в отношении которых имеются или легко определяются самостоятельные характеристики надежности.

Количество элементов, входящих в состав системы, задано по вариантам (табл. 3.9).

Рассчитываются основные параметры надежности системы, если статистическая вероятность безотказной работы подчиняется экспоненциальному закону при  $\lambda = \text{const}$  (значение  $\lambda$  следует взять из табл. 3.10).

Для системы, состоящей из отдельных элементов, интенсивность отказов всей системы равна

$$\Lambda = \sum_{i=1}^{i=k} \lambda_i. \quad (3.18)$$

По уравнению (3.17) и на основании данных, приведенных в табл. 3.9 и 3.10, определяется среднее время наработки системы до первого отказа  $1 / \Lambda$ .

По уравнению (3.15) вычисляется статистическая вероятность отказа работы системы. Строится зависимость вероятности безотказной работы во времени с помощью выражения (3.15).

В результате решения задачи следует рассчитать среднее время наработки системы до первого отказа  $1 / \Lambda$ . Вычислить статистическую вероятность отказа работы системы и построить зависимость вероятности безотказной работы во времени.





Окончание табл. 3.9

Наименование элементов	Вторая цифра варианта									
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Трансформатор	–	1	–	2	–	1	1	2	1	–
Твердотельное реле	10	–	25	–	36	–	40	–	15	–
Электродвигатель	2	2	4	3	1	2	2	1	3	2
Электромагнитный пускатель	4	2	6	2	2	4	2	–	3	3
Автоматический выключатель	10	6	8	7	4	8	12	10	14	9
Тепловая защита двигателя	2	2	4	3	1	2	2	1	3	2
Электромагнитное реле	–	29	–	16	2	30	–	14	–	25
Клеммные соединения	65	86	105	72	110	205	98	68	95	70
Светодиодный индикатор	10	6	8	8	6	8	10	7	12	8
Блок питания	10	2	8	8	4	5	16	22	5	6
Кнопка	–	–	4	6	3	5	8	–	–	–
Переключатель	1	1	2	3	2	1	3	1	1	1

Таблица 3.10

## Средняя наработка на отказ отдельных элементов системы

Наименование устройства	Наработка на отказ, $10^6$ ч
Автоматический регулятор:	
– одноканальный	0,15
– многоканальный	0,1
Многоканальный регистратор	0,08
Термометр сопротивления	0,25
Термопара	0,2
Датчик:	
– давления	0,3
– расхода	0,15
Интеллектуальный преобразователь (HART)	0,1
Барьер искрозащиты	1
Электропневмопреобразователь	0,8
Пневматический исполнительный механизм	5
Бесконтактный пускатель	3
Электрический исполнительный механизм	3
Частотный преобразователь	0,2
Преобразователь интерфейсов (RS 232/RS 485)	0,3
Персональный компьютер (АРМ)	0,1
Панель оператора (АРМ)	0,08
Трансформатор	5
Твердотельное реле	10
Электродвигатель	0,16
Электромагнитный пускатель	3
Автоматический выключатель	6
Тепловая защита двигателя	5
Электромагнитное реле	4
Клеммные соединения	2,5
Светодиодный индикатор	0,2
Блок питания	0,3
Кнопка	8
Переключатель	6

*Примечание.* Указанные в таблице данные являются ориентировочными и могут применяться для учебного расчета надежности системы при номинальных режимах и нормальных условиях. Данные не следует использовать для расчета надежности реальной системы автоматизации.

## **Задача № 4. Расчет параметров регулирующих органов**

Регулирующие органы (РО) являются составной частью регуляторов. Они предназначены для изменения расхода вещества (или энергии), которое отводится или подводится к объекту регулирования.

Регулирующие органы представляют собой переменные гидравлические сопротивления, устанавливаемые в трубопроводе. Дросселирование протекающего потока осуществляется при изменении проходного сечения дроссельного органа с помощью затвора. Каждому значению расхода среды соответствует определенное положение затвора.

Различают теоретические и рабочие статические характеристики регулирующего органа. Теоретическая характеристика строится при постоянном перепаде давления на клапане, а рабочая – при переменном перепаде. Регулирующие клапаны выпускаются с линейными и равнопроцентными (логарифмическими) статическими характеристиками. Рабочая характеристика отличается от теоретической тем, что если теоретическая характеристика регулирующего клапана линейна, то рабочая будет существенно нелинейной.

Регулирующие клапаны работают нормально, если пределы регулирования составляют от 10 до 90% от значения коэффициента пропускной способности клапана. Чем больше рабочий ход затвора, тем более плавно происходит регулирование. Поэтому задачей расчета является выбор клапана, максимальный условный коэффициент пропускной способности которого меньше всего отличается от максимального коэффициента пропускной способности регулирующего органа, найденного расчетом.

При расчете размеров регулирующих органов возможны три случая:

- 1) без учета влияния трубопроводной сети;
- 2) с учетом влияния трубопроводной сети для известной системы;
- 3) с учетом влияния трубопроводной сети для вновь проектируемой системы.

Следует рассчитать и выбрать регулирующий орган для второго случая при регулировании расхода пара. Исходные данные приведены в табл. 3.11.

Исходные данные к задаче № 4

Показатели	Первая цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Внутренний диаметр паропровода $D$ , мм	125	100	80	150	65	200	50	250	40	300
Абсолютное давление пара на входе $P_0$ , кПа	588	686	392	480	490	600	700	450	784	690
Максимальный расход пара $G_{\max}$ , кг/ч	3 350	2 100	690	6 000	710	7 200	750	8 950	2 900	16 250
Длина паропровода до РО $L_1$ , м	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
Местные сопротивления до РО: – резкие повороты ( $n_1$ поворотов под углом $\alpha$ )	1–90	2–80	3–70	3–60	2–50	1–40	1–30	2–35	3–45	1–55
– конфузур под углом $\varphi$	80	70	60	50	40	30	35	45	55	65
Минимальный расход пара $G_{\min}$ , кг/ч	2 000	1 600	220	3 500	450	5 000	520	6 000	150	10 800
Показатели	Вторая цифра варианта									
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Температура пара $t_1$ , °С	170	240	200	180	250	260	190	230	220	210
Длина паропровода до РО $L_2$ , м	34	42	32	40	32	26	28	18	20	24

Показатели	Вторая цифра варианта									
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Местные сопротивления: – резкие повороты ( $n_2$ поворотов под углом $\alpha$ )	1–30	2–40	3–50	3–60	2–70	1–80	1–90	2–85	3–75	2–65
– диффузор под углом $\varphi$	30	40	50	60	70	80	75	65	55	45
Абсолютное давление пара на выходе $P_k$ , кПа	260	200	205	215	225	240	250	230	220	210
Трубы паропровода	Бесшовные новые чистые	Бесшовные после эксплуатации	Сварные чистые	Сварные с коррозией	Сварные заржавевшие	Оцинкованные новые чистые	Оцинкованные после эксплуатации	Бесшовные новые чистые	Сварные старые	Сварные заржавевшие

## Порядок расчета и выбор регулирующего органа

1. Определяются  $\rho$  и  $\mu$  при рабочих условиях по табл. 3.12.
2. Вычисляется число Рейнольдса, отнесенное к диаметру трубопровода при  $G_{\min}$ . Расчет продолжается при условии, что  $Re \geq 2000$ :

$$Re = \frac{10G_{\min}}{9\pi D\mu}, \quad (3.19)$$

где  $G_{\min}$  – минимальный расход, кг/ч;  $D$  – диаметр трубопровода, мм;  $\mu$  – динамическая вязкость,  $10^{-6}$  Па · с.

*Примечание.* Во всех случаях, если особо не оговаривается, следует подставлять значения в тех единицах измерения, как они указаны в исходных данных.

3. Определяется коэффициент трения для данного числа  $Re$ :

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{K_3}{D} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}. \quad (3.20)$$

Значение коэффициента трения лежит в пределах  $\lambda = 0,010$ – $0,045$ .

Считаем, что паропровод изготовлен из стальных труб (бесшовных и сварных). В зависимости от материала, вида и состояния трубы находится значение эквивалентной абсолютной шероховатости по табл. 3.13.

Таблица 3.13

**Значение эквивалентной абсолютной шероховатости**

Материал и вид трубы	Состояние трубы	$K_3$ , мм
Бесшовные стальные	Новые и чистые, тщательно уложенные	0,014
	После нескольких лет эксплуатации	0,2
Стальные сварные	Новые и чистые	0,05
	С незначительной коррозией	0,15
	Умеренно заржавевшие	0,5
	Старые заржавевшие	1,0
	Сильно заржавевшие	3,0
Оцинкованные	Новые и чистые	0,15
	После нескольких лет эксплуатации	0,5

4. Рассчитывается суммарная длина паропровода:

$$L = L_1 + L_2. \quad (3.21)$$

Таблица 3.12

## Удельный объем и динамическая вязкость водяного пара

Температура пара, °С	Удельный объем водяного пара $v$ , м <sup>3</sup> /кг, при давлении, кПа												Динамическая вязкость водяного пара $\mu$ , 10 <sup>-6</sup> Па · с, при давлении, кПа	
	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800	900	1000	100	1000
160	0,9843	0,7842	0,6508	0,5555	0,4839	0,4282	0,3837	0,3167	–	–	–	–	14,58	–
170	1,0085	0,8039	0,6674	0,5699	0,4968	0,4398	0,3943	0,3258	0,2768	–	–	–	14,97	–
180	1,0326	0,8234	0,6839	0,5842	0,5094	0,4512	0,4047	0,3347	0,2847	0,2472	0,2179	0,1944	15,37	15,03
190	1,0566	0,8428	0,7002	0,5984	0,5219	0,4625	0,4149	0,3435	0,2924	0,2541	0,2242	0,2003	15,77	15,46
200	1,0805	0,8621	0,7164	0,6124	0,5343	0,4736	0,4250	0,3521	0,3000	0,2609	0,2304	0,2060	16,18	15,89
210	1,1043	0,8813	0,7326	0,6263	0,5467	0,4847	0,4351	0,3606	0,3074	0,2675	0,2364	0,2115	16,58	16,33
220	1,1281	0,9004	0,7486	0,6402	0,5589	0,4956	0,4450	0,3690	0,3148	0,2740	0,2423	0,2170	16,99	16,77
230	1,1517	0,9195	0,7646	0,6540	0,5710	0,5065	0,4549	0,3774	0,3220	0,2805	0,2482	0,2223	17,40	17,19
240	1,1753	0,9385	0,7806	0,6678	0,5831	0,5173	0,4647	0,3857	0,3292	0,2869	0,2539	0,2276	17,81	17,62
250	1,1989	0,9574	0,7965	0,6815	0,5952	0,5281	0,4744	0,3939	0,3364	0,2932	0,2596	0,2327	18,22	18,05
260	1,2224	0,9764	0,8123	0,6951	0,6072	0,5388	0,4841	0,4021	0,3434	0,2995	0,2653	0,2379	18,63	18,47
270	1,2459	0,9952	0,8281	0,7087	0,6192	0,5495	0,4938	0,4102	0,3505	0,3057	0,2708	0,2430	19,05	18,90

5. Вычисляется средняя скорость в паропроводе при  $G_{\max}$ :

$$W = \frac{4G_{\max}}{\pi D^2 \cdot 3600\rho}, \quad (3.22)$$

где  $D$  – диаметр паропровода, м;  $\rho$  – плотность пара при  $t_1$  и  $P_0$ , кг/м<sup>3</sup>.

6. Определяются потери давления на трение в прямых участках паропровода при  $G_{\max}$ :

$$\Delta P_{\Pi} = \lambda \frac{L}{D} \frac{W^2 \rho}{2} \cdot 10^{-3}. \quad (3.23)$$

7. Находятся потери давления в местных сопротивлениях паропровода при  $G_{\max}$ :

$$\Delta P_{\text{М}} = \left( \xi_{\text{ВХ}} + n_1 \xi_{\alpha} + \xi_{\text{конф,ф}} + n_2 \xi_{\alpha} + \xi_{\text{завд}} + \xi_{\text{диф,ф}} + \xi_{\text{ВЫХ}} \right) \frac{W^2 \rho}{2} \cdot 10^{-3}, \quad (3.24)$$

где  $n_1, n_2$  – число поворотов под углом  $\alpha$  до и после РО соответственно;  $\xi_{\text{ВХ}} = 0,5$ ;  $\xi_{\text{ВЫХ}} = 1,0$ ;  $\xi_{\text{завд}} = 0,08$ .

Значения коэффициентов сопротивлений приведены в табл. 3.14.

Таблица 3.14

**Значения коэффициентов сопротивлений**

Наименование сопротивления	Углы поворотов труб и конических переходов, град.						
	30	40	50	60	70	80	90
Резкий поворот	0,20	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90	1,10
Конфузор	0,24	0,28	0,31	0,32	0,34	0,35	–
Диффузор	0,73	0,91	0,90	0,91	0,91	0,91	–

8. Рассчитываются суммарные потери давления в паропроводе без регулирующего органа:

$$\Delta P_{\text{Т max}} = \Delta P_{\Pi} - \Delta P_{\text{М}}. \quad (3.25)$$

9. Вычисляются суммарные потери (напор) с регулирующим органом:

$$\Delta P_{\text{с}} = P_0 - P_{\text{к}}, \quad (3.26)$$

где  $P_0$  – давление пара на входе, кПа;  $P_{\text{к}}$  – давление пара на выходе, кПа.

10. Определяются потери давления на трение и местные сопротивления на отдельных участках до и после РО соответственно:

$$\Delta P_{\text{п1}} = \lambda \frac{L_1}{D} \frac{W^2 \rho}{2} \cdot 10^{-3}; \quad (3.27)$$



$$\Delta P_{M1} = \left( \xi_{\text{вх}} + n_1 \xi_{\alpha} + \xi_{\text{конф,ф}} \right) \frac{W^2 \rho}{2} \cdot 10^{-3}; \quad (3.28)$$

$$\Delta P_{П2} = \lambda \frac{L_2}{D} \frac{W^2 \rho}{2} \cdot 10^{-3}; \quad (3.29)$$

$$\Delta P_{M2} = \left( n_2 \xi_{\alpha} + \xi_{\text{задв}} + \xi_{\text{диф,ф}} + \xi_{\text{вых}} \right) \frac{W^2 \rho}{2} \cdot 10^{-3}. \quad (3.30)$$

11. Находится давление пара на входе в регулирующий орган  $P_1$  и на выходе  $P_2$  соответственно:

$$P_1 = P_0 - (\Delta P_{П1} + \Delta P_{M1}); \quad (3.31)$$

$$P_2 = P_{\text{к}} + (\Delta P_{П2} + \Delta P_{M2}). \quad (3.32)$$

12. Рассчитывается критический перепад давления:

$$\Delta P_{\text{кр}} = \frac{P_1}{2}. \quad (3.33)$$

13. Вычисляется перепад давления на регулирующем органе:

$$\Delta P_{\text{min}} = \Delta P_{\text{с}} - \Delta P_{\text{т max}}. \quad (3.34)$$

14. Определяется режим течения пара из условия:

–  $\Delta P_{\text{min}} < \Delta P_{\text{кр}}$  – докритический режим;

–  $\Delta P_{\text{min}} \geq \Delta P_{\text{кр}}$  – критический режим.

15. Рассчитывается условная пропускная способность РО в зависимости от истечения пара:

а) для докритического режима

$$K_{v \text{ max}} = \frac{G_{\text{max}}}{33} \sqrt{\frac{v_2}{\Delta P_{\text{min}} \cdot 0,01}}; \quad (3.35)$$

б) для критического режима

$$K_{v \text{ max}} = \frac{G_{\text{max}}}{23,4} \sqrt{\frac{v_1}{P_1 \cdot 0,01}}, \quad (3.36)$$

где  $v_2$  – удельный объем пара при  $t_2$  и  $P_2$ , м<sup>3</sup>/кг;  $v_1$  – удельный объем пара при  $t_1$  и  $P_1$ , м<sup>3</sup>/кг.

Для примера  $v$  можно определить по табл. 3.12 (см. на с. 31).

16. Находится расчетное значение пропускной способности, принимая значение коэффициента запаса  $\eta = 1,1-1,2$ :

$$K'_{v \text{ max}} = \eta K_{v \text{ max}}. \quad (3.37)$$

17. По полученному значению  $K'_{v \max}$  выбирается регулирующий орган соответствующего типа из условия  $K_{v y} \geq K'_{v \max}$  (табл. 3.15).

18. Рассчитывается пропускная способность трубопроводной линии по формуле, соответствующей докритическому режиму течения:

$$K_{v \tau} = \frac{G_{\max}}{33} \sqrt{\frac{v_2}{\Delta P_{\min} \cdot 0,01}}. \quad (3.38)$$

19. Вычисляется отношение  $\Delta P_{\tau \max}$  к потерям давления в регулирующем органе  $\Delta P_{\min}$  при  $G_{\max}$  по формуле

$$n = \frac{K_{v y}}{K_{v \tau}}. \quad (3.39)$$

20. Определяются максимальный и минимальный относительные расходы:

– находится предварительное значение максимального относительного расхода пара:

$$q_{\max}^{\text{пр}} = \frac{K_{v \max}}{K_{v y}}; \quad (3.40)$$

– устанавливается истинное положение  $q_{\max}$ . На рис. 3.4 (см. на с. 36) через точку, соответствующую  $q_{\max}^{\text{пр}}$ , проводится горизонтальная прямая до пересечения с линией  $n = 0$ . Затем из этой точки проводится вертикальная линия до пересечения с кривой, соответствующей найденному по формуле (3.39) значению  $n$ . Ордината точки пересечения соответствует максимальному относительному расходу среды через регулирующий орган  $q_{\max}$ . Например: для  $q_{\max}^{\text{пр}} = 0,48$  и  $n = 1,5$  истинное значение  $q_{\max} = 0,7$  (см. рис. 3.4);

– рассчитывается минимальный относительный расход пара:

$$q_{\min} = q_{\max} \frac{G_{\min}}{G_{\max}}. \quad (3.41)$$

21. Определяется пропускная характеристика регулирующего органа:

а) по известным значениям  $n$ ,  $q_{\max}$ ,  $q_{\min}$  находится диапазон нагрузки  $l_{\max}$  и  $l_{\min}$  для РО с линейной пропускной характеристикой по графику на рис. 3.4, для РО с равнопроцентной характеристикой – по графику на рис. 3.5 (см. на с. 36). Например: на рис. 3.4  $l_{\max} = 0,74$ ,  $l_{\min} = 0,28$ , а на рис. 3.5  $l_{\max} = 0,89$ ,  $l_{\min} = 0,62$ ;

Таблица 3.15

## Условная пропускная способность

Типы регулирующих клапанов	Условная пропускная способность $K_{vy}$ при условных проходах $D_y$ , мм											
	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300
Двухседельные средних расходов	4	6,3	10	16	25	40	63	100	160	250	400	630
	6,3	10	16	26	40	63	100	160	250	400	630	1000
	10	16	25	40	63	100	160	250	400	630	100	1600
Односедельные средних расходов и трехходовые	3,2	5	8	12	20	32	50	80	125	200	–	–
	5	8	12	20	32	50	80	125	200	320	–	–
	8	12	20	32	50	80	125	200	300	500	–	–
Диафрагмовые	8	12,5	20	32	50	80	125	200	320	500	–	–
Шланговые	32	50	80	125	200	320	600	800	1250	2000	3200	5000

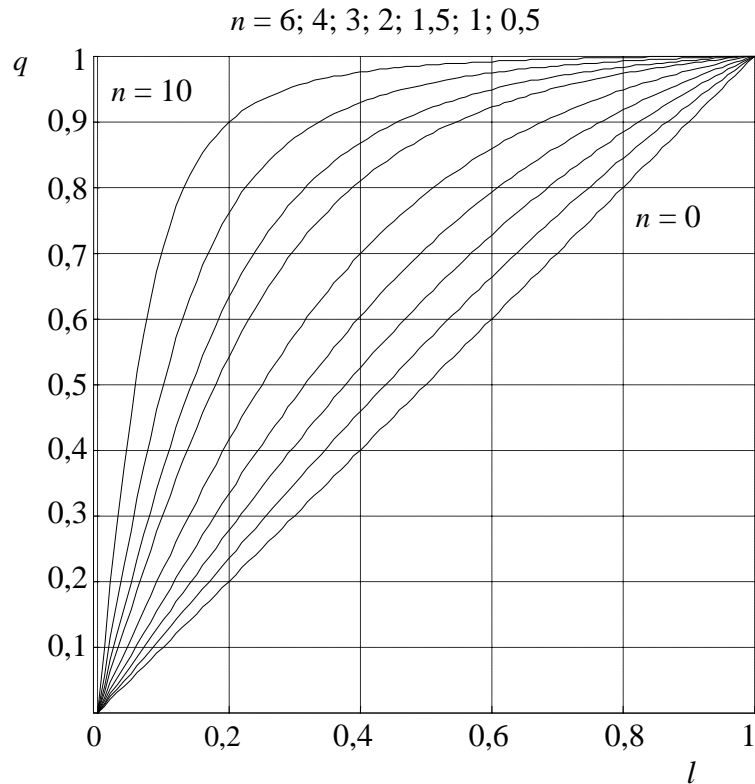


Рис. 3.4. Рабочие расходные характеристики регулирующих клапанов с линейной теоретической характеристикой

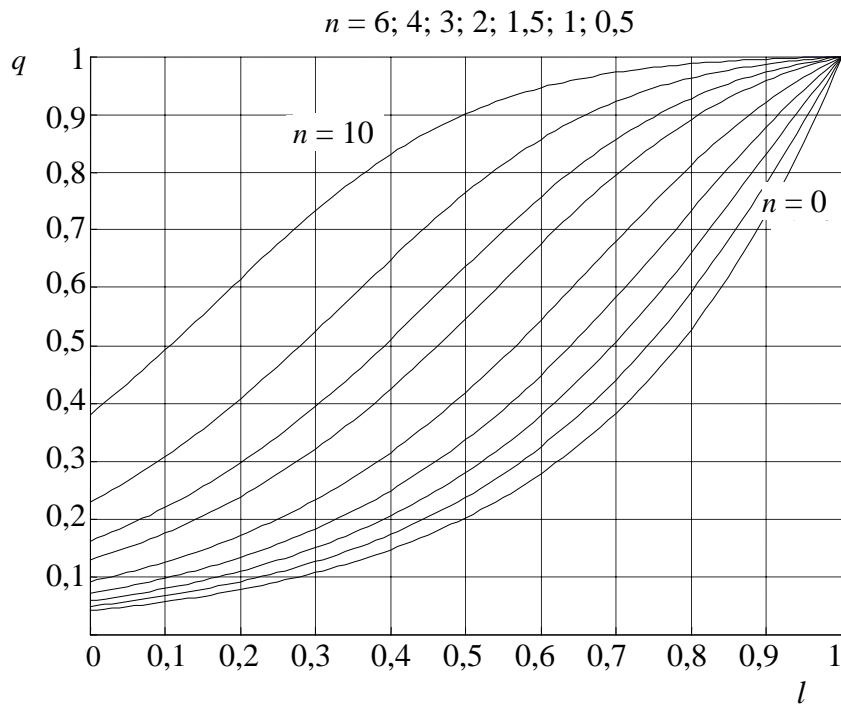


Рис. 3.5. Рабочие расходные характеристики регулирующих клапанов с логарифмической теоретической характеристикой

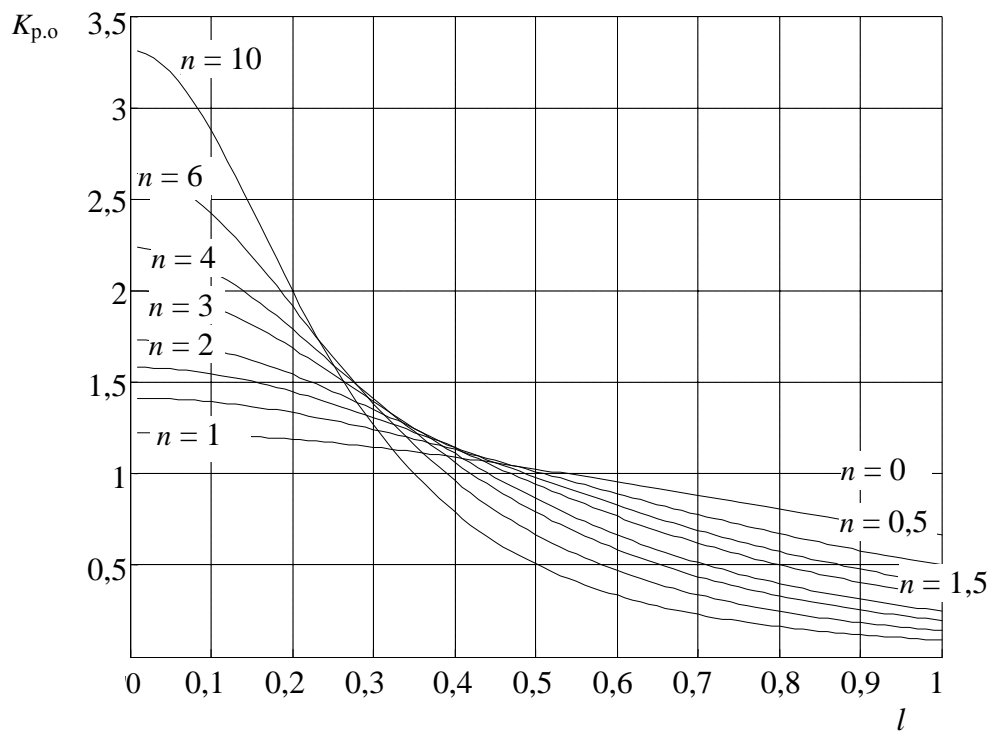


Рис. 3.6. Коэффициенты передачи регулирующих органов с линейной пропускной характеристикой

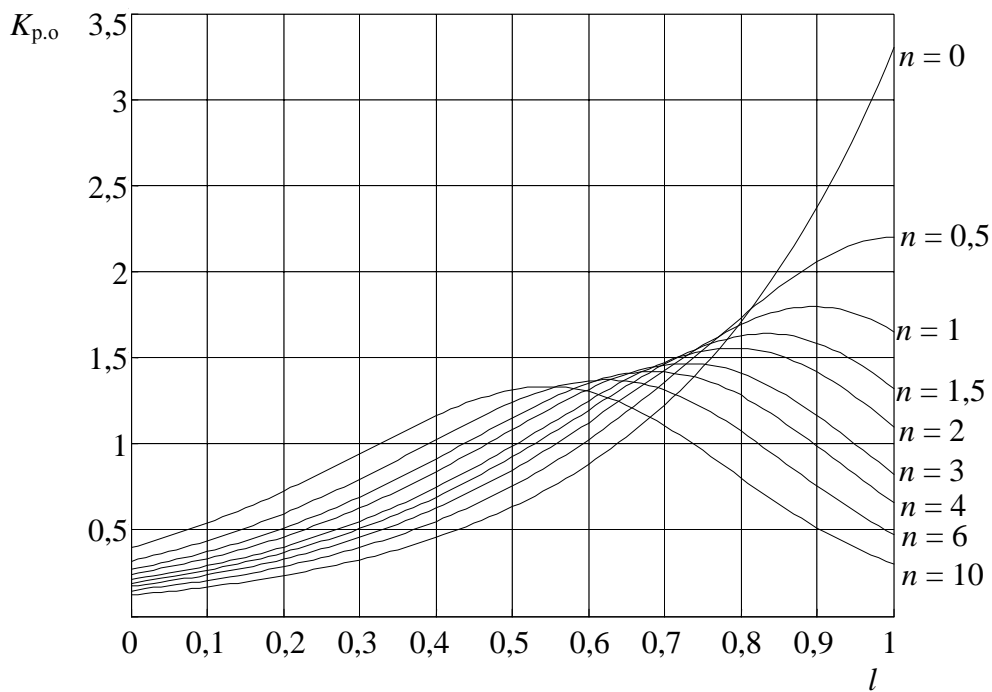


Рис. 3.7. Коэффициенты передачи регулирующих органов с логарифмической пропускной характеристикой

б) по графикам на рис. 3.6 и 3.7 (см. на с. 37) вычисляются максимальные и минимальные значения коэффициента передачи регулирующего органа для принятого диапазона нагрузки и находится следующее отношение:  $K_{p.o \min} / K_{p.o \max}$  для линейной и равнопроцентной пропускных характеристик. Регулирующий орган выбирается с наибольшим отношением коэффициентов передачи.

С целью углубленного изучения материала в качестве элементов научных исследований предлагается произвести расчет и выбор регулирующего органа для регулирования расхода, например, следующих рабочих сред:

- 1) вода;
- 2) воздух;
- 3) газ;
- 4) керосин;
- 5) серная кислота;
- 6) азотная кислота;
- 7) нефть.

*Примечание.* Дополнительное задание выполняется по желанию студента.

# ЛИТЕРАТУРА

## Основная

1. Шандоров, Б. В. Технические средства автоматизации / Б. В. Шандоров, А. Д. Чудаков. – М.: Академия, 2007. – 368 с.
2. Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования: справ. пособие / А. С. Ключев [и др.]; под ред. А. С. Ключева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 368 с.
3. Технические средства автоматизации химических производств: справочник / В. С. Балакирев [и др.]. – М.: Химия, 1991. – 272 с.
4. Беляев, Г. Б. Технические средства автоматизации в теплоэнергетике / Г. Б. Беляев, В. Ф. Кузицин, Н. И. Смирнов. – М.: Энергоиздат, 1982. – 320 с.

## Дополнительная

1. Справочник по средствам автоматики / под ред. В. Э. Низэ и И. В. Антика. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 504 с.
2. Иткина, Д. М. Исполнительные устройства систем управления в химической и нефтехимической промышленности / Д. М. Иткина. – М.: Химия, 1984. – 282 с.
3. Балакирев, В. С. Применение средств пневмо- и гидроавтоматики в химических производствах: учеб. пособие для вузов / В. С. Балакирев, А. Э. Софиев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1984. – 192 с.
4. Радионов, В. Д. Технические средства АСУТП: учеб. пособие для вузов / В. Д. Радионов, В. А. Терехов, В. Б. Яковлев; под ред. В. Б. Яковлева. – М.: Высш. шк., 1989. – 263 с.

# СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ.....	4
2. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ .....	8
3. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ .....	9
Задача № 1. Расчет электромагнитного реле.....	9
Задача № 2. Выбор аппаратов управления и защиты .....	13
Задача № 3. Расчет надежности элементов системы.....	22
Задача № 4. Расчет параметров регулирующих органов .....	27
ЛИТЕРАТУРА .....	39



## **ТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ**

Составители: **Байда** Юрий Александрович  
**Сарока** Виктор Викторович

Редактор *Е. С. Ватеичкина*  
Компьютерная верстка *Е. С. Ватеичкина*

Подписано в печать 15.09.2011. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 2,4. Уч.-изд. л. 2,5.  
Тираж 50 экз. Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение:  
УО «Белорусский государственный технологический университет».  
ЛИ № 02330/0549423 от 08.04.2009.  
ЛП № 02330/0150477 от 16.01.2009.  
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.