



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Часть I. Физические явления в электрических аппаратах

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ

- 1.1. Общие сведения
 - 1.2. Переходное сопротивление контакта
 - 1.3. Конструкции контактов
 - 1.4. Режимы работы контактов
 - 1.5. Вопросы для самоконтроля
 - 1.6. Примеры расчета
- Глоссарий

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ





ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Часть I. Физические явления в электрических аппаратах

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ

1.1. Общие сведения

1.2. Переходное сопротивление контакта

1.3. Конструкции контактов

1.4. Режимы работы контактов

1.5. Вопросы для самоконтроля

1.6. Примеры расчета

Глоссарий

1.1. Общие сведения.

Место перехода тока из одной токоведущей части в другую называется электрическим контактом. Электрические контактные соединения бывают неразмыкаемые и размыкаемые. Неразмыкаемые контакты выполняются при помощи болтового соединения, сваркой, пайкой или скруткой. Размыкаемые контактные соединения осуществляют периодическое замыкание и размыкание электрической цепи.

Сборочная единица в составе электрического аппарата, с помощью которой в процессе работы аппарата производится замыкание или размыкание электрической цепи, называется контактной системой электрического аппарата. В контактной системе электрический контакт осуществляется нажатием одного токоведущего элемента на другой при помощи контактных пружин. Усилие, с которым сжимаются токоведущие элементы контакта (контактдетали), называется контактным нажатием.

В размыкаемых контактных соединениях имеет место раствор и провал контактов. Раствор контактов – это минимальное расстояние между контактдетальями в разомкнутом состоянии контакта. Провал контактов – это максимальное расстояние, на которое переместится подвижная контактдеталь в замкнутом состоянии контакта, если убрать неподвижную контактдеталь.

Поверхность проводника, соприкасающаяся с поверхностью другого проводника, называется контактной поверхностью. У электрического контакта следует различать кажущуюся и действительную поверхности соприкосновения. При самой тщательной обработке контактной поверхности на ней все же будут микроскопические бугорки и шероховатости. Поэтому, в действительности две поверхности будут соприкасаться не по всей кажущейся площади, а лишь отдельными площадками. По кажущейся поверхности соприкосновения условно различают три типа контактов: *точечный, линейный и поверхностный* (рис. 2).





ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Часть I. Физические явления в электрических аппаратах

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ

1.1. Общие сведения

1.2. Переходное сопротивление контакта

1.3. Конструкции контактов

1.4. Режимы работы контактов

1.5. Вопросы для самоконтроля

1.6. Примеры расчета

Глоссарий

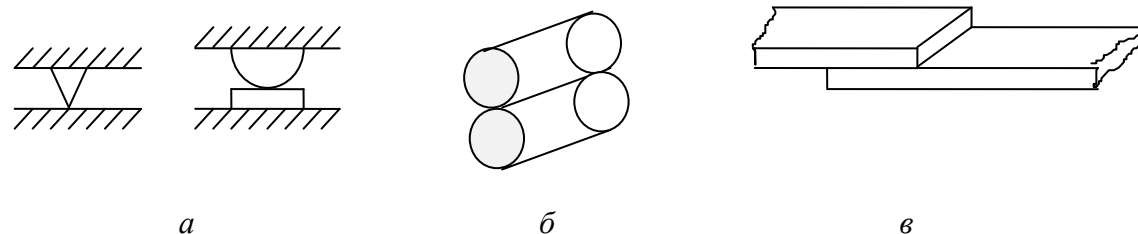


Рис. 2. Типы электрических контактов

a – точечный, *б* – линейный, *в* – поверхностный.

У точечного контакта соприкосновение происходит только в одной точке, кажущаяся и действительная поверхности соприкосновения совпадают. У линейных контактов соприкосновение происходит по точкам, лежащим на одной линии. Минимальное количество точек соприкосновения в линейном контакте равно двум. У поверхностного контакта кажущееся соприкосновение происходит по точкам, расположенным на соприкасающейся поверхности. Минимальное количество точек соприкосновения в поверхностном контакте равно трем.

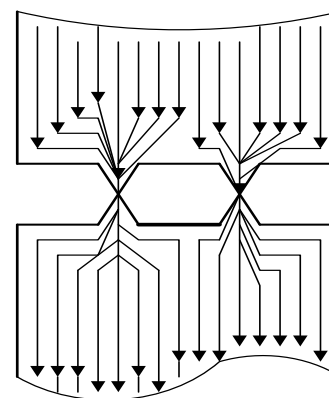


Рис. 3. Модель контакта

Все контактные соединения должны удовлетворять требованиям надежности, механической прочности, термической и электродинамической устойчивости, стойкости против влияния внешней окружающей среды.



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Часть I. Физические явления в электрических аппаратах

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ

1.1. Общие сведения

1.2. Переходное сопротивление контакта

1.3. Конструкции контактов

1.4. Режимы работы контактов

1.5. Вопросы для самоконтроля

1.6. Примеры расчета

Глоссарий

1.2. Переходное сопротивление контакта.

В месте перехода тока из одного проводника в другой возникает электрическое сопротивление, которое называется переходным сопротивлением контакта.

Переходное сопротивление контакта можно представить как результат резкого повышения плотности тока в местах соприкосновения контактных поверхностей по сравнению с плотностью тока в самом контакте (рис. 3). В местах соприкосновения проводников линии тока стягиваются к участкам с малым сечением, которые представляют большое сопротивление току. Это сопротивление называется сопротивлением стягивания и определяется по следующей формуле:

$$R_{\text{ст}} = \frac{\rho}{2an}, \quad (1)$$

где ρ – удельное сопротивление материала контактов, Ом·м; a – радиус площадки фактического касания, м; n – число точек касания.

Радиус фактического касания (рис. 4) зависит от вида деформации материала контактов. При упругой деформации радиус площадки определяется формулой:

$$a = 0,86 \cdot \sqrt[3]{\frac{F_{\text{к}} \cdot r}{E}}, \quad (2)$$

где $F_{\text{к}}$ – контактное нажатие, Н; E – модуль упругости материала, Н/м.

При пластической деформации радиус площадки определяется формулой:

$$a = \sqrt{\frac{F_{\text{к}}}{\pi \cdot n \cdot \sigma_{\text{см}}}}, \quad (3)$$

где $\sigma_{\text{см}}$ – предел прочности материала контактов на смятие, Н/м².





ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Часть I. Физические явления в электрических аппаратах

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ

1.1. Общие сведения

1.2. Переходное сопротивление контакта

1.3. Конструкции контактов

1.4. Режимы работы контактов

1.5. Вопросы для самоконтроля

1.6. Примеры расчета

Глоссарий

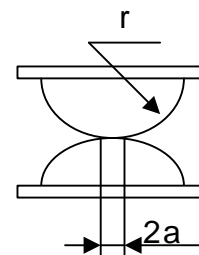


Рис. 4. Площадка касания

Таким образом, переходное сопротивление контакта можно представить следующим выражением:

$$R_n = R_{cm} + R_{nl}. \quad (4)$$

Здесь R_{nl} – сопротивление окисной пленки на поверхности контакта.

На основании опытных данных величина переходного сопротивления определяется выражением

$$R_n = \frac{k_{nx}}{(0,102F_k)^n}. \quad (5)$$

Здесь k_{nx} – коэффициент, зависящий от материала и формы контакта, способа обработки и состояния контактной поверхности; n – показатель степени, характеризующий число точек соприкосновения, для различных контактов имеет следующие значения: точечный контакт $n = 0,5$; линейный контакт $n = 0,5 \dots 0,7$; поверхностный контакт $n = 0,7 \dots 1,0$.

С увеличением контактного нажатия переходное сопротивление уменьшается вследствие увеличения площади касания за счет смятия бугорков (рис. 5). Причем, после снятия F_k за счет остаточной деформации бугорков на поверхности контактов, переходное сопротивление становится меньше, чем при увеличении F_k .





ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Часть I. Физические явления в электрических аппаратах

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ

1.1. Общие сведения

1.2. Переходное сопротивление контакта

1.3. Конструкции контактов

1.4. Режимы работы контактов

1.5. Вопросы для самоконтроля

1.6. Примеры расчета

Глоссарий

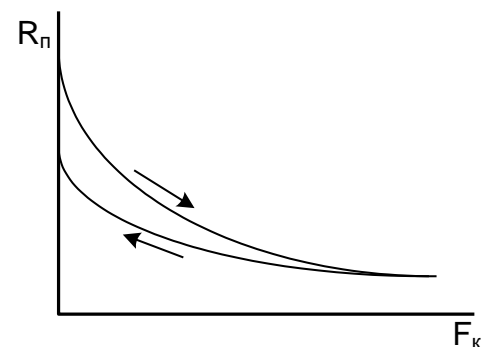


Рис. 5. Зависимость переходного сопротивления от силы контактного нажатия

Переходное сопротивление очень чувствительно к окислению поверхности в виду того, что окислы многих металлов являются плохими проводниками. Окисление поверхности контактов происходит под воздействием кислорода воздуха. Вследствие окисления переходное сопротивление может возрасти в сотни и тысячи раз. Возрастание переходного сопротивления приводит к увеличению мощности на R_n и возрастанию температуры контактного соединения. Для борьбы с окислением контактов их покрывают оловом, серебром или техническим вазелином.



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Часть I. Физические явления в электрических аппаратах

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ

1.1. Общие сведения

1.2. Переходное сопротивление контакта

1.3. Конструкции контактов

1.4. Режимы работы контактов

1.5. Вопросы для самоконтроля

1.6. Примеры расчета

Глоссарий

1.3. Конструкции контактов

Конструкция размыкаемых контактов определяется значениями номинального тока, номинального напряжения, тока короткого замыкания, режимом работы, назначением аппарата.

На рис. 6, *a* показан мостиковый контакт с точечными контактами. Контактное нажатие при замыкании создается цилиндрической контактной пружиной. Контакты такого типа рассчитаны на номинальный ток до 100 А и применяются, в магнитных пускателях, в промежуточных реле и др.

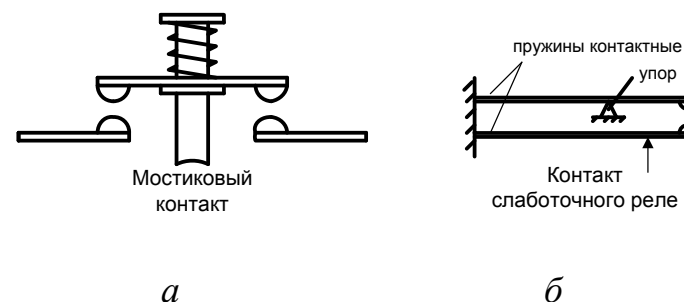


Рис. 6. Конструкции контактов

Контакты, показанные на рис. 6, *б* выполнены в виде консольно закрепленных плоских пружин с контактными напайками, образующими точечный контакт. Контактное нажатие создается реакцией пружин при изгибе. Такие контакты находят применение в слаботочных реле, рассчитанных на токи не более 10 А.

В реле широко применяются контакты спускового действия, конструкция которых приведена на рис. 7. Между двумя парами неподвижных контактов 1 помещен контактный мостик 2, установленный на траверсе 3. На мостик действуют две предварительно сжатые пружины 4, которые прижимают мостик к неподвижным контактам.



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Часть I. Физические явления в электрических аппаратах

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ

1.1. Общие сведения

1.2. Переходное сопротивление контакта

1.3. Конструкции контактов

1.4. Режимы работы контактов

1.5. Вопросы для самоконтроля

1.6. Примеры расчета

Глоссарий

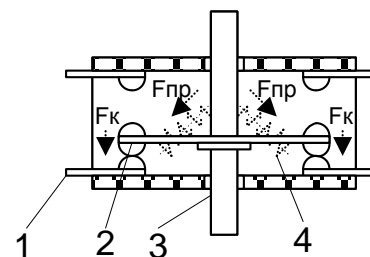


Рис. 7. Контакты спускового действия

При движении траверсы вниз пружины сжимаются и контактное нажатие F_k увеличивается. При переходе точки закрепления пружин на траверсе через мостик направленные действия сил $F_{пр}$, создаваемых пружинами, меняется на противоположное и мостик скачком перемещается вверх, замыкая другую пару неподвижных контактов.

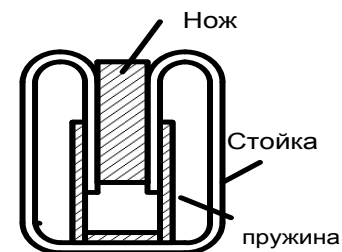


Рис. 8. Контакт врубного типа

В силовых электрических аппаратах, например, в аппаратах распределительных устройств (рубиль-ники, предохранители и др.) применяется врубной контакт (рис. 8). Такой контакт состоит из неподвижного (стойка), подвижного (нож) контактов и пружины. Это самоочищающийся контакт, так как после каждого замыкания и размыкания окисная пленка стирается на соприкасающихся поверхностях.



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Часть I. Физические явления в электрических аппаратах

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ

- 1.1. Общие сведения
- 1.2. Переходное сопротивление контакта
- 1.3. Конструкции контактов
- 1.4. Режимы работы контактов
- 1.5. Вопросы для самоконтроля
- 1.6. Примеры расчета
- Глоссарий

1.4. Режимы работы контактов.

При коммутации электрической цепи работу контактов можно разделить на следующие режимы: режим замыкания, режим замкнутого состояния и режим размыкания.

Режим замыкания. В этом режиме возможны следующие процессы: 1) *вибрация контактов*, 2) *эрозия контактов*.

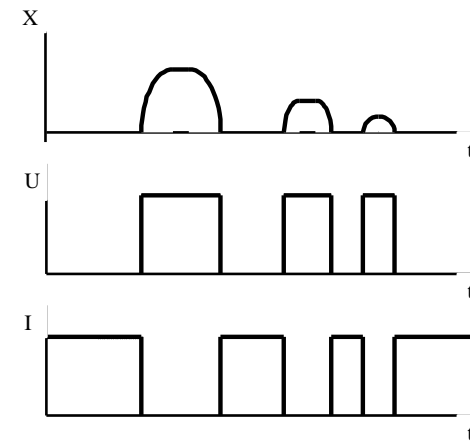


Рис. 9. Процесс вибрации контактов

При замыкании подвижный контакт приближается к неподвижному контакту с определенной скоростью. При соударении происходит упругая деформация материала обоих контактов.

Это приводит к отбросу подвижного контакта, и он отскакивает от неподвижного на десятые или сотые доли миллиметра. Под действием контактной пружины происходит повторное замыкание контактов. Этот процесс может повторяться несколько раз с затухающей амплитудой (рис. 9). При каждом отбросе между контактами возникает электрическая дуга, вызывающая износ контактов в виде оплавления и распыления ма-



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Часть I. Физические явления в электрических аппаратах

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ

1.1. Общие сведения

1.2. Переходное сопротивление контакта

1.3. Конструкции контактов

1.4. Режимы работы контактов

1.5. Вопросы для самоконтроля

1.6. Примеры расчета

Глоссарий

териала контактов. Для уменьшения вибрации контактная пружина должна иметь предварительное сжатие при разомкнутых контактах. В момент касания контактов сила нажатия возрастает не из нуля, а от величины предварительного нажатия.

Увеличение жесткости контактной пружины способствует уменьшению вибрации. На вибрацию контактов влияет момент инерции, с ростом которого вибрация усиливается.

При протекании больших токов через контакты вибрация усиливается из-за возникновения электродинамических усилий (ЭДУ), отбрасывающих контакты. Поэтому, для компенсации действия ЭДУ, необходимо увеличивать нажатие контактных пружин.

В режиме замыкания контактов, по мере приближения подвижного контакта к неподвижному, возрастает напряженность электрического поля между контактами и при определенном расстоянии происходит пробой межконтактного промежутка. В аппаратах низкого напряжения пробой возникает при очень малом расстоянии и в дуговую форму разряд не переходит, так как подвижный контакт продолжает двигаться и замыкает контакт.

Однако пробой промежутка вызывает перенос металла с одного контакта на другой (с анода на катод). Происходит физический износ или эрозия. В аппаратах высокого напряжения, при сближении контактов, пробой происходит при больших расстояниях. Возникшая дуга горит относительно долго, при этом возможно сваривание контактов. Для устранения пробоя применяют несколько разрывов, последовательно соединенных между собой.

Режим замкнутого состояния. В этом режиме возможны два случая: 1) *через контакты проходит длительное время номинальный ток*; 2) *через контакты проходит ток короткого замыкания*.

При длительном номинальном токе на переходном сопротивлении контакта выделяется мощность, которая вызывает нагрев контакта. Это приводит к размягчению и плавлению материала контактов. Поэтому, контакт характеризуется двумя точками





ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Часть I. Физические явления в электрических аппаратах

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ

- 1.1. Общие сведения
 - 1.2. Переходное сопротивление контакта
 - 1.3. Конструкции контактов
 - 1.4. Режимы работы контактов
 - 1.5. Вопросы для самоконтроля
 - 1.6. Примеры расчета
- Глоссарий

(рис. 10): точкой размягчения (рекристаллизации) с параметрами $U_{к1}$ и $\theta_{к1}$ ($U_{к1}$ – падение напряжения, $\theta_{к1}$ – температура) и точка плавления с параметрами $U_{к2}$ и $\theta_{к2}$, значение которых приведено в таблице 1.

Для надежной работы контактов необходимо, чтобы при номинальном токе I_n падение напряжения на переходном сопротивлении было меньше допустимого

$$I_n R_n < U_{доп} = (0.5 - 0.8) U_{к1} . \quad (6)$$

При коротком замыкании через контакты проходят токи в 10...20 раз превышающие номинальные значения. Из-за малой постоянной времени нагрева температура контактной площадки практически мгновенно повышается и может достигнуть температуры плавления. Это может привести к свариванию контактов.

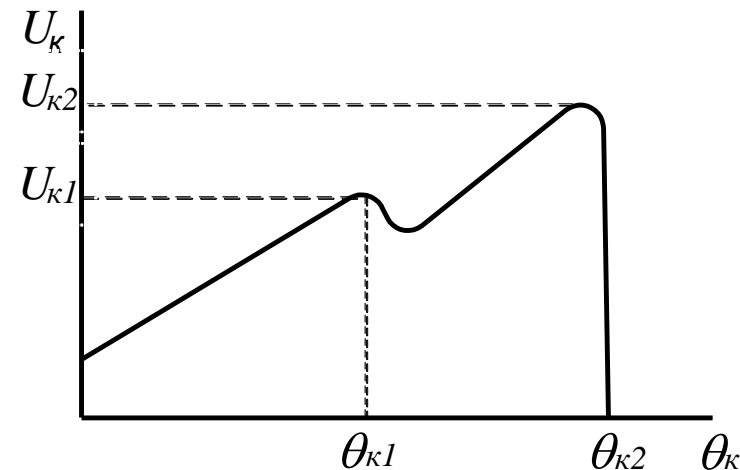


Рис. 10. Зависимость падения напряжения на контакте от температуры



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Часть I. Физические явления в электрических аппаратах

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ

1.1. Общие сведения

1.2. Переходное сопротивление контакта

1.3. Конструкции контактов

1.4. Режимы работы контактов

1.5. Вопросы для самоконтроля

1.6. Примеры расчета

Глоссарий

Таблица 1. Параметры точек рекристаллизации и плавления
контактов из различных материалов

Материал	$U_{к1}, В$	$\theta_{к1}, ^\circ C$	$U_{к2}, В$	$\theta_{к2}, ^\circ C$
медь	0.12	190	0.43	1083
серебро	0.09	150	0.35	960
алюминий	0.10	150	0.30	658
вольфрам	0.40	1000	1.00	3370

Режим размыкания контактов. При размыкании сила нажатия уменьшается, переходное сопротивление возрастает (рис. 5) и растет температура точек касания. В момент разъединения контактов температура достигает температуры плавления и между контактами возникает мостик из жидкого металла. При дальнейшем движении контактов мостик взрывается и, в зависимости от параметров отключаемой цепи, возникает либо дуговой разряд, либо тлеющий. При возникновении дугового разряда температура катодного и анодного пятен дуги достигает точки плавления материалов. Высокая температура контактов приводит к их интенсивному окислению, распылению материала контактов в окружающем пространстве, переносу материала с одного электрода на другой и образованию пленок. Все это влечет за собой износ контактов.





ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Часть I. Физические явления в электрических аппаратах

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ

1.1. Общие сведения

1.2. Переходное сопротивление контакта

1.3. Конструкции контактов

1.4. Режимы работы контактов

1.5. Вопросы для самоконтроля

1.6. Примеры расчета

Глоссарий

Перенос материала с одного электрода на другой наиболее вреден при постоянном токе, так как направление переноса не меняется. Это ведет к быстрому выходу из строя контактов. Направление эрозии и форма износа контактных поверхностей зависит от вида разряда и величины тока. Если величина тока и напряжения не превышают некоторых пограничных значений I_o и U_o , то тлеющий разряд не переходит в дуговой (таблица 2).

Таблица 2. Погораничные значения I_o и U_o
различных материалов контактов.

Материал	U_o , В	I_o , А
серебро	12.0	0.40
золото	15.0	0.38
медь	12.3	0.43
вольфрам	17.0	0.90

Основными средствами борьбы с эрозией в аппаратах на токи от 1 до 600 А являются: 1) сокращение длительности горения дуги за счет применения дугогасительных устройств; 2) устранение вибрации при включении; 3) применение дугостойких контактных материалов.





ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Часть I. Физические явления в электрических аппаратах

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ

1.1. Общие сведения

1.2. Переходное сопротивление контакта

1.3. Конструкции контактов

1.4. Режимы работы контактов

1.5. Вопросы для самоконтроля

1.6. Примеры расчета

Глоссарий

1.5. Вопросы для самоконтроля

1.5.1. Перечислите наиболее распространенные материалы, применяемые для изготовления размыкаемых контактов, укажите их достоинства и недостатки.

1.5.2. Что такое раствор и провал коммутующих контактов, как создаются и как влияют на качество контакта силы начального и конечного контактных нажатий?

1.5.3. Приведите графическую и аналитическую зависимости переходного сопротивления контакта от силы нажатия и объясните их.

1.5.4. Что такое напряжение размягчения и напряжение плавления? Каким образом обеспечивается допустимое падение напряжения на контакте?

1.5.5. Опишите три основных режима работы контактов и укажите факторы, отрицательно влияющие на работу контактов в этих режимах.

1.5.6. Какие факторы могут вызвать сваривание контактов?

1.5.7. Что такое электрическая эрозия и дуговой износ контактов и от чего они зависят?

1.5.8. Как возникает вибрация (дребезг) при замыкании контактов и к каким последствиям это приводит? Укажите способы снижения вибрации.

1.5.9. Какие процессы происходят в межконтактном промежутке в режиме замыкания контактов?

1.5.10. Приведите классификацию контактов.

1.5.11. Какие процессы происходят в контакте в режиме замкнутого состояния при длительном номинальном токе?





ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Часть I. Физические явления в электрических аппаратах

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ

1.1. Общие сведения

1.2. Переходное сопротивление контакта

1.3. Конструкции контактов

1.4. Режимы работы контактов

1.5. Вопросы для самоконтроля

1.6. Примеры расчета

Глоссарий

1.5.12. Охарактеризуйте способы уменьшения переходного сопротивления контакта.

1.5.13. Что такое переходное сопротивление контакта и чем оно обусловлено?

1.5.14. Какими процессами и в какой последовательности сопровождается режим размыкания контактов?

1.5.15. Опишите конструкции наиболее распространенных контактов.





ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Часть I. Физические явления
в электрических аппаратах

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ

- 1.1. Общие сведения
- 1.2. Переходное сопротивление контакта
- 1.3. Конструкции контактов
- 1.4. Режимы работы контактов
- 1.5. Вопросы для самоконтроля

1.6. Примеры расчета

Глоссарий

1.6. Примеры расчета [6]

1.6.1. Определить сопротивление стягивания R_{cm} в месте контакта сферических торцевых поверхностей двух круглых медных стержней (рис. 11).

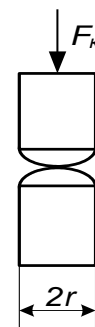


Рис. 11. Контакт

Дано: $F_k = 100$, Н – контактное нажатие; $r = 40$, мм – радиус стержня; $\rho_0 = 1,62 \cdot 10^{-8}$, Ом.м – удельное сопротивление меди при температуре 0°C ; $\sigma_{cm} = 38,3 \cdot 10^7$, Н/м² – предел прочности материала на смятие; $E = 10,8 \cdot 10^{10}$, Н/м – модуль упругости меди.

Решение: Предполагая упругую деформацию, радиус площадки касания определим по формуле (2)

$$a = 0,86 \cdot \sqrt[3]{F_k \frac{r}{E}} = 0,86 \cdot \sqrt[3]{100 \frac{40 \cdot 10^{-3}}{10,8 \cdot 10^{10}}} = 2,86 \cdot 10^{-4}, \text{ м} .$$

Механическое напряжение в контактной площадке

$$\sigma = \frac{F_k}{\pi \cdot a^2} = \frac{100}{3,14 \cdot 2,86^2 \cdot 10^{-8}} = 38,9 \cdot 10^{-7}, \text{ Н/м}^2 . \quad (7)$$



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

**Часть I. Физические явления
в электрических аппаратах**

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ

- 1.1. Общие сведения
- 1.2. Переходное сопротивление контакта
- 1.3. Конструкции контактов
- 1.4. Режимы работы контактов
- 1.5. Вопросы для самоконтроля
- 1.6. Примеры расчета

Глоссарий

Для мягкой меди это напряжение больше, чем напряжение смятия $\sigma_{см}$ и, следовательно, будет иметь место пластическая деформация.

Радиус площадки касания при пластической деформации определяется по формуле (3)

$$a = \sqrt{\frac{F_{\kappa}}{\pi \cdot n \cdot \sigma_{см}}} = \sqrt{\frac{100}{3,14 \cdot 38,9 \cdot 10 \cdot 10^7}} = 2,86 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Сопротивление стягивания по (1) будет равно

$$R_{см} = \frac{\rho_0}{2 \cdot a} = \frac{1,62 \cdot 10^{-8}}{2 \cdot 2,86 \cdot 10^{-4}} = 0,283 \cdot 10^{-4} \text{ Ом.}$$

Ответ: $R_{см} = 0,283 \cdot 10^{-4}$ Ом.

1.6.2. Определить величину контактного нажатия мостикового контакта вспомогательной цепи контактора (рис. 12). Контакты подвижные и неподвижные изготовлены из серебряных накладок полусферической формы.

Дано: ток контактов $i = 5$ А; радиус контакта $r = 1,0$ см; напряжение рекристаллизации серебра $U_{\kappa l} = 0,09$ В; падение напряжения на контакте $U_{\text{конт}} = 0,1 \cdot U_{\kappa l}$, В; модуль упругости серебра $E = 7,35 \cdot 10^{10}$ Н/м; удельное сопротивление серебра $\rho_0 = 1,5 \cdot 10^{-6}$ Ом·см.

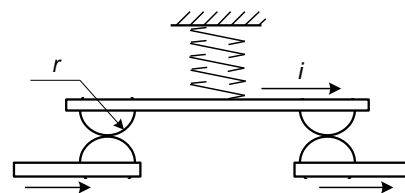


Рис. 12. Мостиковый контакт



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Часть I. Физические явления в электрических аппаратах

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ

- 1.1. Общие сведения
- 1.2. Переходное сопротивление контакта
- 1.3. Конструкции контактов
- 1.4. Режимы работы контактов
- 1.5. Вопросы для самоконтроля
- 1.6. Примеры расчета

Глоссарий

Решение. Максимально допустимое сопротивление контактов

$$R_{\kappa} = \frac{U_{\text{конт}}}{i} = \frac{0,1 \cdot U_{\kappa 1}}{i}. \quad (8)$$

Для слаботочных контактов по формуле (1) имеем

$$R_{\kappa} = R_{\text{см}} = \frac{\rho_0}{2 \cdot a}. \quad (9)$$

Приравнивая правые части выражений (8) и (9) получим

$$\frac{\rho_0}{2 \cdot a} = \frac{0,1 \cdot U_{\kappa}}{i} \text{ откуда имеем } a = \frac{\rho_0 \cdot i}{0,2 \cdot U_{\kappa 1}}. \quad (10)$$

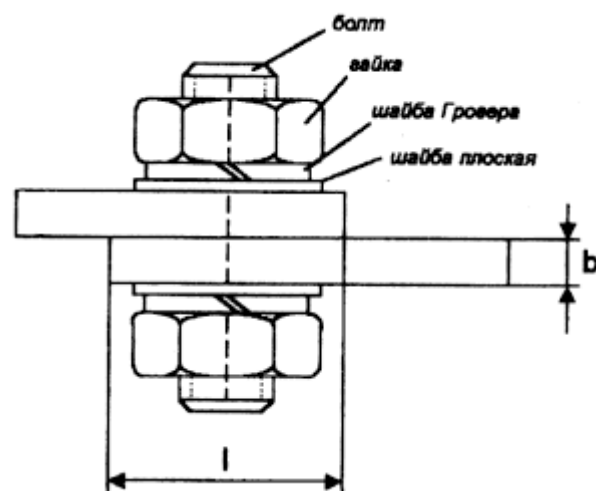
Подставляя полученное значение a , в формулу (2), и решая относительно F_{κ} , найдем искомое контактное нажатие

$$F_{\kappa} = \frac{\rho_0^3 \cdot i^3 \cdot E}{0,0051 \cdot 0,09^3 \cdot 1 \cdot 10^{-2}} = 0,83 \cdot 10^{-3}, \text{ Н.} \quad (11)$$

Так как мостиковый контакт состоит из двух контактов, то суммарное контактное нажатие будет равно

$$F_{\kappa} = 2 \cdot 0,83 \cdot 10^{-3} = 1,66 \cdot 10^{-3}, \text{ Н.}$$

Ответ: $F_{\kappa} = 1,66 \cdot 10^{-3}, \text{ Н.}$



" 0350' " "



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Часть I. Физические явления в электрических аппаратах

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ

- 1.1. Общие сведения
- 1.2. Переходное сопротивление контакта
- 1.3. Конструкции контактов
- 1.4. Режимы работы контактов
- 1.5. Вопросы для самоконтроля

1.6. Примеры расчета

Глоссарий

1.6.3. Рассчитать контактное сопротивление болтового соединения двух токоведущих шин прямоугольного сечения (рис. 13). Дано: размер сечения шин $a \times b = 25 \times 4,5$ мм; номинальный ток $I_n = 400$ А; расчетная температура контактного соединения $\theta_k = 100$ °С; размеры кажущейся площади соприкосновения $l = a = 25$ мм; число болтов $n_b = 1$; материал шин *медь*.

Таблица 3. Болтовые соединения

Марка болта	$I_n, \text{ А}$	Ширина площадки $a, \text{ мм}$	Сила нажатия на 1 болт	
			Не контролир. затяжка, $P_1, \text{ Н}$	Норм. контролир. затяжка, $P_2, \text{ Н}$
М4	10...20	8...10	1000	1300
М5	20...50	10...13	1400	1800
М6	50...100	12...18	2300	2900
М8	100...160	16...24	4200	5400
М10	160...250	20...30	7000	8600
М12	250...400	25...40	10000	13000
М16	400...630	35...50	20000	24000





ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Часть I. Физические явления в электрических аппаратах

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ

- 1.1. Общие сведения
- 1.2. Переходное сопротивление контакта
- 1.3. Конструкции контактов
- 1.4. Режимы работы контактов
- 1.5. Вопросы для самоконтроля
- 1.6. Примеры расчета

Глоссарий

Таблица 4. Рекомендуемые значения удельных давлений

Материал	p , МПа
Медь	$> 5 \dots 10$
Латунь	$> 6 \dots 12$
Алюминий	$> 20 \dots 25$

Таблица 5. Коэффициент переходного сопротивления

Материал	K_{nx}
Медь - медь	$0,24 \cdot 10^{-3}$
Латунь – латунь	$0,67 \cdot 10^{-3}$
Алюминий - алюминий	$0,3 \cdot 10^{-3}$

Таблица 6. Удельное сопротивление

Материал	ρ_0 , Ом·м
Медь	$1,62 \cdot 10^{-8}$
Латунь	$7,2 \cdot 10^{-8}$
Алюминий	$2,62 \cdot 10^{-8}$





ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Часть I. Физические явления в электрических аппаратах

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ

- 1.1. Общие сведения
- 1.2. Переходное сопротивление контакта
- 1.3. Конструкции контактов
- 1.4. Режимы работы контактов
- 1.5. Вопросы для самоконтроля
- 1.6. Примеры расчета

Глоссарий

Таблица 7. Температурный коэффициент сопротивления

Материал	α при 0 °С	α при 20 °С
Медь	0,0043	0,004
Латунь	0,0015	0,00146
Алюминий	0,0042	0,0039

Решение. Выбираем болт М12 и не контролируемую затяжку $F = 10000$ Н по таблице 3.

Удельное давление на площадку

$$p = \frac{F}{a \cdot l} = \frac{10^4}{25^2 \cdot 10^{-6}} = 16 \cdot 10^6 \text{ Па или } p = 16 \text{ МПа.} \quad (12)$$

Расчетное значение удельного давления удовлетворяет рекомендуемым значениям (таблица 4).

Переходное сопротивление (сопротивление стягивания) рассчитываем по (5).

$$R_{nx} = \frac{k_{nx}}{(0,102F_k)^n \cdot n_\sigma} \cdot \left[1 + \frac{2}{3} \alpha \cdot (\theta_k - 20)\right] = \frac{0,24 \cdot 10^{-3}}{(0,102 \cdot 10^4)^{0,7} \cdot 1} \cdot \left[1 + \frac{2}{3} \cdot 0,004 \cdot (100 - 20)\right] = 2,28 \cdot 10^{-6}$$

Здесь $K_{nx} = 0,24 \cdot 10^4$ из таблицы 5; $\alpha = 0,004$ из таблицы 7; $n = 0,7$ для поверхностного контакта.





ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Часть I. Физические явления в электрических аппаратах

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ

- 1.1. Общие сведения
- 1.2. Переходное сопротивление контакта
- 1.3. Конструкции контактов
- 1.4. Режимы работы контактов
- 1.5. Вопросы для самоконтроля
- 1.6. Примеры расчета

Глоссарий

Сопротивление сплошного проводника длиной l $R_{u0} = \rho_t \frac{l}{a \cdot b}$,

где $\rho_t = \rho_0(1 + \alpha_0 \theta_k) = 1,62 \cdot 10^{-8} (1 + 0,0043 \cdot 100) = 2,317 \cdot 10^{-8}$, Ом·м.

Тогда $R_{u0} = 2,317 \cdot 10^{-8} \frac{25 \cdot 10^{-3}}{25 \cdot 10^{-3} \cdot 4,5 \cdot 10^{-3}} = 5,15 \cdot 10^{-6}$, Ом.

Коэффициент сопротивления концов соединяемых проводников

$$K_u = 0,5 + 0,9 \cdot \frac{b}{l} = 0,5 + 0,9 \cdot \frac{4,5}{25} = 0,662. \quad (13)$$

Сопротивление концов соединяемых проводников

$$R_u = R_{u0} \cdot K_u = 5,15 \cdot 10^{-6} \cdot 0,662 = 3,41 \cdot 10^{-6}, \text{ Ом.}$$

Общее сопротивление контактного соединения

$$R_k = R_{nx} + R_u = (2,28 + 3,41) \cdot 10^{-6} = 5,69 \cdot 10^{-6}, \text{ Ом.}$$

Сравнивая R_k с R_{u0} , видим, что $R_k > R_{u0}$. Это недопустимо, так как при длительном протекании номинального тока контактное соединение будет нагреваться выше расчетной температуры, вследствие повышенных потерь мощности на сопротивлении контактного соединения.

Устранить это нежелательное явление можно путем увеличения контактного нажатия. Для этого можно использовать один из следующих способов. Во-первых, применить нормально контролируруемую затяжку болта. При этом может оказаться недостаточной прочность на растяжение материала болта выполненного, например, из стали Ст.3. Тогда рекомендуется заменить на Ст.4, что увеличит прочность болта в 1,5 раза.



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Часть I. Физические явления в электрических аппаратах

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ

- 1.1. Общие сведения
- 1.2. Переходное сопротивление контакта
- 1.3. Конструкции контактов
- 1.4. Режимы работы контактов
- 1.5. Вопросы для самоконтроля
- 1.6. Примеры расчета

Глоссарий

Во-вторых, можно взять следующий больший диаметр болта, например, М14 или М16, если это позволяет сделать ширина контактной площадки a , которая должна быть не менее $2D_б$.

В-третьих, можно применить два болта. При этом в формуле R_{nx} , принять $n_б = 2$, F – сила на один болт и $l = 2a$. Тогда R_{nx} уменьшится в два раза, $R_{ш}$ несколько уменьшится за счет $K_{ш}$, $R_{ш0}$ возрастет в два раза. Это позволит даже применить болты меньшего диаметра, если a будет не меньше $3D_б$.

Увеличим силу сжатия за счет выбора нормально контролируемой затяжки $F = 13000$ Н. Тогда по (5) определяем

$$R_{nx} = \frac{0,24 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot (0,102 \cdot 13000)^{0,7}} = 1,56 \cdot 10^{-6}, \text{ Ом.}$$

Проверяем общее сопротивление контактного соединения

$$R_k = (1,56 + 3,41) \cdot 10^{-6} = 4,97 \cdot 10^{-6}, \text{ Ом.}$$

Это меньше чем $R_{ш0}$, следовательно, сопротивление контактного соединения соответствует требованию.





ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Часть I. Физические явления в электрических аппаратах

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ

- 1.1. Общие сведения
- 1.2. Переходное сопротивление контакта
- 1.3. Конструкции контактов
- 1.4. Режимы работы контактов
- 1.5. Вопросы для самоконтроля
- 1.6. Примеры расчета

Глоссарий

ГЛОССАРИЙ





ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Часть I. Физические явления в электрических аппаратах

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ

- 1.1. Общие сведения
- 1.2. Переходное сопротивление контакта
- 1.3. Конструкции контактов
- 1.4. Режимы работы контактов
- 1.5. Вопросы для самоконтроля
- 1.6. Примеры расчета

Глоссарий

Автоматический выключатель – Электромеханический аппарат, предназначенный для нечастых включений и автоматического отключения в силовых электрических цепях при аварийных режимах.

Биметаллическая пластина – Термочувствительный элемент теплового, температурного реле и расцепителя автоматического выключателя.

Вибрация якоря – Периодическое притяжение и отпускание якоря электромагнита, обусловленное пульсирующим характером тяговой силы.

Вольтамперная характеристика (ВАХ) дуги – Зависимость напряжения на дуге от тока дуги.

Вольтамперная характеристика вентиля – Зависимость протекающего через вентиль тока от приложенного напряжения.

Восстанавливающееся напряжение – Мгновенное значение напряжения на дуговом промежутке, возникающее в процессе восстановления.

Восстановление напряжения – Процесс изменения напряжения на дуговом промежутке после прохождения тока дуги через нуль

Геркон – Герметизированный магнитоуправляемый контакт.

Датчик – Устройство, функционально преобразующее контролируемую величину в выходной сигнал, удобный для дальнейшей обработки и дистанционной передачи.

Деионизация – Процесс воссоединения положительно и отрицательно заряженных частиц и образования нейтральных частиц.

Естественная коммутация – Отключение электронного аппарата за счет естественного изменения полярности напряжения источника питания.

Индуктивный делитель – Электромагнитное устройство, предназначенное для выравнивания токов в параллельных цепях силовых электронных аппаратов.

Интеллектуальный силовой модуль – Высокоинтегрированная система на основе максимального количества компонентов для полного решения какой-либо задачи.

Ионизация – Процесс образования заряженных частиц в межконтактном промежутке.





ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Часть I. Физические явления в электрических аппаратах

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ

- 1.1. Общие сведения
- 1.2. Переходное сопротивление контакта
- 1.3. Конструкции контактов
- 1.4. Режимы работы контактов
- 1.5. Вопросы для самоконтроля
- 1.6. Примеры расчета

Глоссарий

Искусственная коммутация – Отключение электронного аппарата за счет изменения полярности напряжения искусственными (схемными) средствами.

Кажущаяся поверхность – Поверхность соприкосновения элементов контакта, определяемая формой контакт-деталей.

Комбинированный аппарат – Устройство, содержащее одновременно контактную систему электромеханического аппарата и силовую схему на основе полупроводниковых приборов.

Контактное нажатие – Усилие, с которым сжимаются токоведущие элементы контакта.

Контактор – Электромеханический аппарат, предназначенный для частых включений и выключений в силовых электрических цепях.

Коэффициент перегрузки – Коэффициент, характеризующий увеличение тока кратковременного режима по отношению к току длительного режима, при котором за время работы проводник нагревается до допустимой температуры.

Линия возврата – Характеристика, определяющая магнитные свойства постоянного магнита при изменении воздушного зазора.

Магнитная нейтраль – Плоскость, проходящая через сердечник и ярмо электромагнита, на которой поток рассеяния равен нулю

Магнитная цепь – Совокупность ферромагнитных деталей и немагнитных промежутков между ними, по которым замыкается магнитный поток.

Магнитное демпфирование – Уменьшение скорости изменения магнитного потока в магнитной цепи электромагнита за счет действия вихревых токов в короткозамкнутых контурах.

Магнитное дутье – Перемещение электрической дуги под действием электродинамических усилий.

Магнитный пускатель – Комплектный коммутационный аппарат дистанционного управления, предназначенный для частых включений, отключений и защиты асинхронных электродвигателей.

Параллельная катушка – Катушка электромагнита, подключаемая параллельно источнику питания.

Перенапряжение – Превышение напряжения на контактах относительно напряжения источника питания.





ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Часть I. Физические явления в электрических аппаратах

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ

- 1.1. Общие сведения
- 1.2. Переходное сопротивление контакта
- 1.3. Конструкции контактов
- 1.4. Режимы работы контактов
- 1.5. Вопросы для самоконтроля
- 1.6. Примеры расчета

Глоссарий

Переходное сопротивление контакта – Электрическое сопротивление в месте перехода тока из одного проводника в другой.

Поверхностный эффект – Явление вытеснения тока в проводнике под действием собственного магнитного поля.

Полупроводниковый аппарат – Статическое устройство, способное находиться в двух устойчивых состояниях (в проводящем или непроводящем) и быстро переходить из одного состояния в другое по команде или параметрически.

Последовательная катушка – Катушка электромагнита, включаемая последовательно в цепь с другими потребителями.

Постоянная времени нагрева – Время, в течение которого проводник с током нагреется до 63,2 % от установившейся температуры.

Противодействующее усилие – Механическая сила, создаваемая сжатыми пружинами, весом и трением.

Реле – Электротехническое устройство, в котором при плавном изменении входной величины выходная величина изменяется скачком.

Силовой блок – Совокупность мощных полупроводниковых ключей, охлаждающих устройств, снабженных элементами, соединенных в стандартные конфигурации.

Силовой модуль – Совокупность силовых полупроводниковых приборов и систем управления, объединенных в одном корпусе

Система управления – Электрическая схема, предназначенная для формирования управляющих импульсов с определенными параметрами.

Старение магнита – Ухудшение магнитных свойств постоянного магнита с течением времени.

Твердотельное реле – Полупроводниковое устройство, предназначенное для бесконтактной коммутации силовых цепей исполнительных механизмов.

Тиристор – Полупроводниковый аппарат, способный обеспечить произвольную задержку момента отпирания при наличии прямого напряжения.





ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Часть I. Физические явления в электрических аппаратах

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ

- 1.1. Общие сведения
- 1.2. Переходное сопротивление контакта
- 1.3. Конструкции контактов
- 1.4. Режимы работы контактов
- 1.5. Вопросы для самоконтроля
- 1.6. Примеры расчета

Глоссарий

Тяговая сила – Сила взаимодействия якоря электромагнита с магнитным потоком в рабочем воздушном зазоре.

Ударный ток – Первая амплитуда тока короткого замыкания.

Уставка реле – Изменяемое значение входной величины, при которой реле срабатывает

Установившаяся температура нагрева – Температура проводника, которая не изменяется в течении 1 часа более чем на 1 градус Цельсия.

ЭДС движения – Электродвижущая сила в катушке электромагнита, обусловленная скоростью уменьшения воздушного зазора при срабатывании электромагнита.

Электрический аппарат – Электротехническое устройство, предназначенное для управления потоком электрической энергии.

Электрический контакт – Место перехода тока из одной токоведущей части в другую.

Электродинамическое усилие – Сила, действующая на проводник с током, находящийся в магнитном поле.

Эффект близости – Явление вытеснения тока в проводнике под действием магнитного поля соседних проводников с током.





Возврат
из справки

КЛАВИАТУРА

Home

Нажатие клавиши «**Home**» на клавиатуре вызывает переход к **титульной странице** документа.
С титульной страницы можно осуществить переход к оглавлению (в локальной версии курса).

PgUp



Нажатие клавиши «**PgUp**» («**PageUp**») или показанных клавиш со стрелками на клавиатуре вызывает переход к просмотру **предыдущей страницы** относительно просматриваемой в настоящий момент согласно порядку их расположения в документе.

PgDn



Нажатие клавиши «**PgDn**» («**PageDown**») или показанных клавиш со стрелками на клавиатуре вызывает переход к просмотру **следующей страницы** относительно просматриваемой в настоящий момент согласно порядку их расположения в документе.

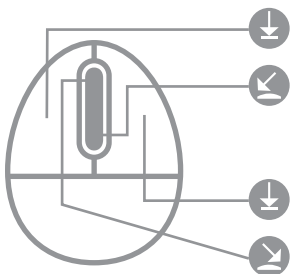
Alt

+

F4

Нажатие комбинации клавиш «**Alt**»+«**F4**» на клавиатуре вызывает **завершение работы программы просмотра** документа (в локальной версии курса).

МАНИПУЛЯТОР «МЫШЬ»



Нажатие **левой клавиши** «мыши» или вращение **колёсика** в направлении «**от себя**» вызывает переход к просмотру **следующей страницы** относительно просматриваемой в настоящий момент согласно порядку их расположения в документе.

Нажатие **правой клавиши** «мыши» или вращение **колёсика** в направлении «**к себе**» вызывает переход к просмотру **предыдущей страницы** относительно просматриваемой в настоящий момент согласно порядку их расположения в документе.

ПАНЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ТЕХНОЛОГИИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

1. ПРОМЫШЛЕННЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ПО

1.1. Основные понятия
1.2. Особенности промышленного ПО и кризис его разработки
1.3. Сложность разработки ПО
1.4. Характеристики программного продукта
1.5. Жизненный цикл программного продукта
1.6. Процессы разработки
1.7. Модели разработки
1.8. Методологии разработки

1.8.1. Единая система программной документации
1.8.2. Microsoft Solutions Framework
1.8.3. Экстремальное программирование
1.8.4. Rational Unified Process

1.9. Выбор и адаптация методологии разработки
Глоссарий

Панель управления – содержит перечень разделов, а также кнопки навигации, управления программой просмотра и вызова функции поиска по тексту.

Просматриваемый в данный момент **раздел**.

Доступные разделы.

В зависимости от текущего активного раздела в перечне могут присутствовать подразделы этого раздела.



Кнопка переключения между полноэкранным и оконным **режимом просмотра**.

Кнопки **последовательного перехода** к предыдущей и следующей страницам.

Кнопка **возврата к предыдущему виду**. Используйте её для обратного перехода из глоссария.

Кнопка вызова функции **поиска по тексту**.

Кнопка перехода к **справочной (этой) странице**.

Кнопка **завершения работы**.