



Негосударственное частное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Технический университет УГМК»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ  
КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**МОНТАЖ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ  
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

**Направление  
подготовки**

**13.03.02 Электроэнергетика и электротехника**

**Профиль подготовки**

**Электрооборудование и энергохозяйство горных и  
промышленных предприятий**

**Уровень высшего образования**

**бакалавриат**

*(бакалавриат, специалитет, магистратура)*

Автор - разработчик: Рубцов А. А.

Рассмотрено на заседании кафедры энергетики

Одобрено Методическим советом университета 30 июня 2021 г., протокол № 4

г. Верхняя Пышма  
2021

### **Общие указания**

Контрольная работа состоит из двух заданий, выполняется обучающимся заочной формы самостоятельно, письменно.

При выполнении контрольной работы обязательно использовать ссылки на литературу. Не допускается дословное переписывание текста книг, справочной литературы.

Контрольная работа должна быть выполнена аккуратно и содержать вопросы задания и лаконичные ответы на них.

В необходимых случаях приводятся рисунки, таблицы, диаграммы. Рисунки и таблицы должны быть четкими.

В конце контрольной работы приводится список использованной литературы, подпись и дата выполнения.

### **Задание 1**

Дать письменные ответы на вопросы согласно выданному варианту.

**Таблица заданий по 1 части**

<b>Вариант</b>	<b>Вопросы</b>	<b>Вариант</b>	<b>Вопросы</b>	<b>Вариант</b>	<b>Вопросы</b>
01	1,27,53,79	34	34,60,86,8	67	41,67,93,15
02	2,28,54,80	35	35,61,87,9	68	42,68,94,16
03	3,29,55,81	36	36,62,88,10	69	43,69,95,17
04	4,30,56,82	37	37,63,89,11	70	44,70,96,18
05	5,31,57,83	38	38,64,90,12	71	45,71,97,19
06	6,32,58,84	39	39,65,91,13	72	46,72,98,20
07	7,33,59,85	40	40,66,92,14	73	47,73,99,21
08	8,34,60,86	41	41,67,93,15	74	48,74,100,22
09	9,35,61,87	42	42,68,94,16	75	49,75,101,23
10	10,36,62,88	43	43,69,95,17	76	50,76,102,24
11	11,37,63,89	44	44,70,96,18	77	51,77,103,25
12	12,38,64,90	45	45,71,97,19	78	52,78,104,26
13	13,39,65,91	46	46,72,98,20	79	53,79,1,27
14	14,40,66,92	47	47,73,99,21	80	28,54,80,2
15	15,41,67,93	48	48,74,100,22	81	29,55,81,3
16	16,42,68,94	49	49,75,101,23	82	30,56,82,4
17	17,43,69,95	50	50,76,102,24	83	31,57,83,5
18	18,44,70,96	51	51,77,103,25	84	32,58,84,6
19	19,45,71,97	52	52,78,104,26	85	33,59,85,7
20	20,46,72,98	53	53,79,1,27	86	34,60,86,8
21	21,47,73,99	54	28,54,80,2	87	35,61,87,9
22	22,48,74,100	55	29,55,81,3	88	36,62,88,10
23	23,49,75,101	56	30,56,82,4	89	37,63,89,11
24	24,50,76,102	57	31,57,83,5	90	38,64,90,12
25	25,51,77,103	58	32,58,84,6	91	39,65,91,13
26	26,52,78,104	59	33,59,85,7	92	40,66,92,14
27	27,53,79,1	60	34,60,86,8	93	41,67,93,15
28	28,54,80,2	61	35,61,87,9	94	42,68,94,16
29	29,55,81,3	62	36,62,88,10	95	43,69,95,17
30	30,56,82,4	63	37,63,89,11	96	44,70,96,18
31	31,57,83,5	64	38,64,90,12	97	45,71,97,19

Вариант	Вопросы	Вариант	Вопросы	Вариант	Вопросы
32	32,58,84,6	65	39,65,91,13	98	46,72,98,20
33	33,59,85,7	66	40,66,92,14	99	47,73,99,21

### **Перечень контрольных вопросов**

1. Значение высокого качества электромонтажных работ для безаварийной работы электроустановок промышленных предприятий.
2. Достижения науки и техники в области монтажа, наладки и испытания промышленных электроустановок.
3. Организация электромонтажных работ.
4. Виды электромонтажных работ и структура электромонтажных организаций.
5. Задачи подразделений электромонтажных организаций.
6. Техническая документация и общие условия производства электромонтажных работ.
7. Индустриализация, механизация и материально-техническое обеспечение электромонтажных работ.
8. Стадии производства электромонтажных работ.
9. Электромонтажные устройства и изделия.
10. Монтажные механизмы, инструменты и приспособления, приборы и аппараты.
11. Каковы основные этапы производства электромонтажных работ?
12. Какие нормативные документы и информационные материалы используются при производстве электромонтажных работ?
13. Каковы функции подразделений монтажного управления?
14. Что понимается под уровнем индустриализации электромонтажного производства? Что способствует его повышению?
15. Назовите основные электромонтажные устройства, изделия, механизмы и инструменты.
16. Способы выполнения контактных соединений проводов, кабельных жил, шин.
17. Опрессование. Сварка. Пайка.
18. Технология выполнения опрессования, сварки, пайки.
19. Болтовые контактные соединения проводов, шин.
20. Технология выполнения болтовых контактных соединений.
21. Контроль качества выполнения контактных соединений.
22. От каких факторов зависит переходное сопротивление контактов?
23. Каковы особенности выполнения контактных соединений алюминиевых жил проводов, кабелей, шин?
24. Как выполняется соединение жил проводов и кабелей опрессовкой, пайкой, сваркой?
25. Общие требования по устройству электропроводок и токопроводов.
26. Виды электропроводок и способы прокладки проводов и кабелей в зависимости от окружающей среды.
27. Как осуществляется открытая прокладка проводов на изолирующих опорах. Прокладка проводок плоскими проводами
28. Как осуществляется прокладка небронированными кабелями. Скрытая проводка в изоляционных резиновых полутвердых трубах.
29. Как осуществляется прокладка гибких бумажно-металлических труб. Электропроводки в стальных и пластмассовых трубах и модульные сети.
30. Как осуществляется монтаж электропроводки на тросах и струнах. Электропроводки в лотках и коробах.
31. Как осуществляется проводки в зданиях при крупноблочном и крупнопанельном строительстве.
32. Как осуществляется прокладка проводов по станинам машин. Электропроводки в пожаро- и взрывоопасных помещениях.

33. Как осуществляется монтаж шинопроводов силовых, осветительных. Монтаж троллейных линий.
34. Как осуществляется монтаж ввода электрических линий в здания. Проводка на чердаках.
35. Как осуществляется проверка новых проводок. Техника безопасности при монтаже проводок.
36. Как классифицируются помещения по условиям окружающей среды, по степени опасности поражения электрическим током?
37. Как осуществляется подготовка трасс проводков?
38. Как выбирается диаметр труб трубных электропроводков?
39. Какие мероприятия способствуют индустриализации монтажных работ внутренних электропроводков?
40. Как выполняются соединения труб между собой, с корпусами коробок? Как производится затяжка проводков в трубы?
41. Как обеспечивается непрерывность электрической цепи заземления трубных проводков, проводков в лотках, коробах и др.?
42. Каковы особенности электропроводков во взрывоопасных зонах?
43. Как осуществляется крепление магистральных и распределительных шинопроводов?
44. Какие марки проводков рекомендуется применять при прокладке по станинам машин?
45. Основные способы кабельной канализации. Область применения.
46. Прокладка кабелей на конструкциях.
47. Прокладка кабелей в траншеях, каналах, блоках, туннелях, эстакадах.
48. Бестраншейная прокладка кабелей. Прокладка кабелей при отрицательных температурах. Разность уровней и радиусы изгиба кабелей.
49. Особенности прокладки кабелей в алюминиевой оболочке. Обозначения мест прокладки, маркировки проложенных кабелей.
50. Способы соединения и оконцевания кабелей. Конструкции и область применения муфт.
51. Монтаж соединительных, стопорных, ответвительных муфт. Монтаж концевых муфт и заделок.
52. Приемочные испытания кабелей.
53. Какие подготовительные работы должны быть выполнены при прокладке кабелей в траншеях?
54. Почему кабели в траншеях прокладывают змейкой?
55. Назовите основные положения из технических условий для прокладки кабеля в канале, траншее, блоке?
56. Назовите марки кабелей, способы их прокладки в соответствии с требованиями ПУЭ во взрывоопасных помещениях классов В-1, В-1а, В-1б.
57. Сравните кабели марок ААБ, АСВГ, ААШв, ВРГ, АПОВБГ по элементам конструкции, по области применения?
58. Каков допустимый радиус изгиба кабелей марки ААШв(3\*95), АНРГ(3\*50), ААБ(3\*70) и допустимая разность уровней?
59. Как обозначаются места прокладки кабелей и как маркируются кабели?
60. Расскажите технологию выполнения эпоксидных и чугунных соединительных муфт.
61. Как осуществляется прокладка кабеля через проезжую часть и как выполняется ввод кабелей из траншеи в помещение?
62. Назовите допустимые расстояния в свету кабельных линий от различных коммуникаций, зданий, кустарников и т.д.
63. Как осуществляется монтаж концевых муфт и сухих заделок?
64. Каким образом осуществляется защита кабелей от коррозии?

65. Какие меры безопасности необходимо соблюдать при монтаже и испытаниях кабельных линий?
66. Область применения воздушных линий и общие требования к ним.
67. Допустимые приближения проводов воздушной линии к поверхности земли, до различных объектов.
68. В каких случаях целесообразно применение воздушных линий для электроснабжения предприятия?
69. Какие марки проводов применяются для воздушных линий?
70. Из каких элементов состоит воздушная линия?
71. Как осуществляется крепление проводов к изоляторам?
72. Как проверяется стрела провеса и габарит воздушной линии при монтаже?
73. Какие способы соединения проводов применяются на воздушных линиях напряжением до 110 кВ?
74. Каков порядок проведения операций по монтажу воздушных линий?
75. Какие механизмы и машины применяют при монтаже воздушных линий?
76. Как производят монтаж заземления разрядников, нулевого провода воздушных линий?
77. Какие меры безопасности необходимо соблюдать при монтаже воздушных линий?
78. Общие требования к устройству подстанций промышленных предприятий.
79. Последовательность работ по монтажу электрооборудования подстанций.
80. Монтаж заземляющих устройств.
81. Монтаж комплектных распределительных устройств.
82. Монтаж выключателей, разъединителей, короткозамыкателей и приводов к ним, измерительных трансформаторов, шин, изоляторов. Монтаж статических конденсаторов.
83. Монтаж комплектных трансформаторных подстанций КТП.
84. Монтаж силовых трансформаторов.
85. Подготовка КТП к сдаче в эксплуатацию.
86. Трансформаторное масло. Испытания и заливка.
87. Сдача трансформаторов в эксплуатацию.
88. Перечислите оборудование, установленное в КТП.
89. Перечислите назначение разрядников, трансформаторов тока, фотореле, резисторов, автоматов.
90. Как выполнить монтаж КТП?
91. Какие элементы КТП подлежат заземлению?
92. Строительно-монтажные работы трансформаторной подстанции.
93. Ревизия оборудования КТП.
94. Как осуществляется установка опор при монтаже воздушных линий?
95. Какие подготовительные работы предшествуют монтажу электродвигателей?
96. Последовательность ревизии электродвигателей.
97. Последовательность монтажа двигателей и центровки валов.
98. Как изменить направление вращения асинхронного двигателя и выполнить зануление?
99. Как опробовать двигатель вхолостую и под нагрузкой?
100. Монтаж ответвлений от ВЛ.
101. Монтаж вводов в здания.
102. Перечислите способы выполнения тросовых электропроводок.
103. Технология монтажа электропроводок в трубах.
104. Стадии производства электромонтажных работ.

## **Задание 2**

Во второй части контрольной работы предпочтительно решать реальные задачи, стоящие перед студентами на производстве.

Например, студенты, работающие в отделе главного энергетика предприятий, могут снять суточный график нагрузки, привести его к двухступенчатому и оценить перегрузочную способность трансформаторов. При этом следует указать наименование и характеристику предприятия (цеха), как потребителя электроэнергии, конкретную дату снятия графика нагрузки, адрес предприятия.

Студенты, работающие в электромонтажных организациях, могут разработать отдельные элементы проекта производства электромонтажных работ на конкретном объекте.

Наладчики могут привести решения отдельных проблем, связанных с проведением испытаний электрооборудования или с разработкой новых методов или средств испытаний.

Выбранные для решения задачи необходимо согласовать с преподавателем перед их выполнением. При отсутствии возможности решить конкретные задачи необходимо в качестве контрольной работы выполнять решение ниже приведенных задач. Но также при оформлении задания необходимо указать свое место работы.

Вариант задания определяется по последней цифре шифра студента.

### **Задача 1**

Однотрансформаторная подстанция работает по суточному двухступенчатому графику нагрузки с параметрами  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $h$ . Значения параметров трансформатора и графика нагрузки приведены в табл. 1. Энергосистема требует снизить длительность перегрузки, не ограничивая ее абсолютное значение.

Определить: насколько можно снизить длительность систематической перегрузки трансформатора  $h$  за счет повышения  $K_2$  до предельно допустимого значения  $K_{\max}$ . При этом общее количество электроэнергии за период  $h$  не должно изменяться.

### **Задача 2**

Один из двух трансформаторов, работающих с коэффициентами загрузки  $K_1$  аварийно отключился на время  $h$ , второй трансформатор принял на себя всю нагрузку. Исходные данные приведены в табл. 1.

Требуется:

- 1) рассчитать температуру наиболее нагретой точки обмотки трансформатора и сравнить ее с максимально допустимой;
- 2) рассчитать относительный износ изоляции трансформатора за период перегрузки;
- 3) описать полный цикл профилактических испытаний трансформатора;
- 4) привести перечень работ, выполняемых при осмотре трансформаторов.

Таблица 1

## Исходные данные к контрольному заданию

Наименование данных	Варианты										Номер задачи
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Данные трансформатора:											
Тип	ТМ	ТМ	ТМ	ТМ	ТД	ТДМ	ТДМ	ТМ	ТМ	ТМ	Общие №1 №2
Мощность S, мВА	1000	1600	2500	6300	10000	20000	32000	250	400	630	
Напряжение $U_{вн}$ , кВ	10	10	10	35	35	112	115	10	10	10	
Потери мощности $\Delta P_{кз}$ , кВт	12,2	18	25	33,5	65	153	175	3,7	5,5	7,6	
$\Delta P_{хх}$ , кВт	2,45	3,3	4,6	6,7	14,5	62	42	0,8	1,1	1,6	
Данные нагрузки:											
$K_1$ , о.е.	0,7	0,8	0,9	0,6	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,7	№1
$K_2$ , о.е.	1,3	1,3	1,2	1,4	1,5	1,5	1,4	1,3	1,2	1,4	
h, ч	8,0	6,0	4,0	4,0	8,0	6,0	6,0	12,0	8,0	4,0	
Предварительная нагрузка $K_1$ , о.е.	0,7	0,8	0,6	0,7	0,6	0,8	0,7	0,6	0,5	0,7	№2
Длительность аварийной перегрузки h, ч	8,0	8,0	8,0	12,0	12,0	12,0	6,0	6,0	6,0	10,0	

## Методические указания к решению задач

Перед решением задач следует внимательно изучить условные обозначения и единицы измерения величин, разобрать примеры и ознакомиться с таблицами.

Данные по температуре охлаждающего воздуха следует принимать по табл. 2 в зависимости от места жительства студента. Для студентов, проживающих за пределами крупных населенных пунктов, температуру принимать как в ближайшем крупном населенном пункте.

Значение и продолжительность допустимых нагрузок и перегрузок трансформаторов, а также расчетный износ витковой изоляции обмоток при аварийных перегрузках допускается определять для прямоугольных двухступенчатых графиков нагрузки. Порядок преобразования неравномерного суточного графика нагрузки в двухступенчатый график приведен в [1].

На рис. 1 показан пример двухступенчатого графика нагрузки, где  $K_1 = S_1/S_{ном}$  – начальная нагрузка, предшествующая перегрузке, а  $K_2 = S_2/S_{ном}$  – перегрузка, следующая за начальной нагрузкой  $K_1$ ;  $h$  – продолжительность перегрузки, ч.

Перегрузка трансформаторов сопровождается превышением допустимых температур для обмоток и масла, что приводит к повышенному износу витковой изоляции и сокращению срока службы трансформатора.

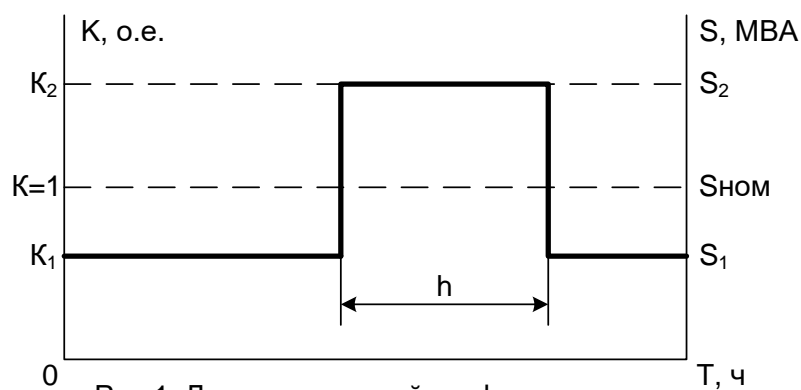


Рис.1. Двухступенчатый график нагрузки

Максимально допустимое значение температуры наиболее нагретой точки обмотки:

$\theta_{ннтmax} = 140^{\circ}\text{C}$  для систематических нагрузок;

$\theta_{ннтmax} = 160^{\circ}\text{C}$  для аварийных перегрузок.

Максимально допустимые температуры масла:

$\theta_{mmax} = 95^{\circ}\text{C}$  для систематических нагрузок;

$\theta_{mmax} = 115^{\circ}\text{C}$  для аварийных перегрузок.

Максимальная величина перегрузки:

$K_{2max} = 1,5$  для систематических нагрузок;

$K_{2max} = 2,0$  для аварийных перегрузок.

Базовая условно постоянная температура наиболее нагретой точки обмотки, при которой скорость расчетного износа витковой изоляции соответствует сроку службы трансформатора, условно принятому за единицу

$\theta_{ннтб} = 98^{\circ}\text{C}$

Значение температуры охлаждающей среды  $\theta_{охл}$  для некоторых городов Урала приведены в табл. 2.



Таблица 2

**Значения годовой и сезонных эквивалентных температур охлаждающего воздуха по населенным пунктам Уральского региона**

Населенный пункт	$\theta_{\text{охл}}, ^\circ\text{C}$		
	Годовая	Зимняя	Летняя
Екатеринбург	7.8	-14.9	17.6
Оренбург	12	-13.4	20.7
Серов	7	-16	16.4
Красноуральск	7,5	-13.9	21.2

Повышение (снижение) температуры обмоток масла и трансформатора происходит по экспоненциальному закону.

Тепловая постоянная времени трансформаторов напряжением до 110 кВ включительно при видах охлаждения М, Д, ч

$$\tau = 2,5 \text{ при } S_{\text{ном}} \leq 6,3 \text{ МВА, } U_{\text{вн}} \leq 10 \text{ кВ}$$

$$\tau = 3,0 \text{ при } \begin{cases} S_{\text{ном}} \leq 40 \text{ МВА, } U_{\text{вн}} = 35 \text{ кВ;} \\ 2,5 \leq S_{\text{ном}} \leq 25 \text{ МВА, } U_{\text{вн}} = 110 \text{ кВ;} \end{cases}$$

$$\tau = 2,0 \text{ при } S_{\text{ном}} > 25 \text{ МВА, } U_{\text{вн}} = 110 \text{ кВ}$$

проверка трансформатора на нагрузочную способность сводится к расчету температуры наиболее нагретой точки обмотки  $\theta_{\text{ннт}}$  и температуры масла  $\theta_{\text{м}}$  и сравнения полученных расчетных значений с допустимыми температурами.

В установившемся тепловом режиме (при нагрузке  $K_1$  или  $K_2$ )

$$\theta_{\text{ннтк}} = \theta_{\text{охл}} + v_{\text{мк}} + v_{\text{ннтмк}} \quad (1)$$

где  $v_{\text{мк}}$  – превышение температуры масла в верхних слоях над температурой охлаждающей среды,  $^\circ\text{C}$ ;

$v_{\text{ннтмк}}$  – превышение температуры наиболее нагретой точки обмотки над температурой масла в верхних слоях,  $^\circ\text{C}$ .

$$v_{\text{мк}} = v_{\text{мно}} \cdot \left( \frac{1+dK^2}{1+d} \right)^X \quad (2)$$

где  $v_{\text{мно}}$  – превышение температуры масла в верхних слоях над температурой охлаждающей среды,  $v_{\text{мно}} = 60^\circ\text{C}$  для трансформаторов с видами охлаждения М, Д и  $v_{\text{мно}} = 40^\circ\text{C}$  – для трансформаторов ДЦ, Ц;

$d = \Delta P_{\text{кз}} / \Delta P_{\text{хх}}$  – отношение потерь короткого замыкания к потерям холостого хода.

$$v_{\text{ннтмк}} = (v_{\text{ннтном}} - v_{\text{мно}}) K^Y = v_{\text{ннтмно}} K^Y \quad (3)$$

где  $v_{\text{ннтном}}$  – превышение температуры наиболее нагретой точки обмотки над температурой охлаждающей среды,  $^\circ\text{C}$ ;

$v_{\text{ннтмно}}$  – превышение температуры наиболее нагретой точки обмотки над температурой масла в верхних слоях,  $^\circ\text{C}$ ;

$$v_{\text{ннтмно}} = \theta_{\text{ннт}} - v_{\text{мно}} - \theta_{\text{охл}} \quad (4)$$

Коэффициенты X, Y зависят от вида охлаждения трансформаторов

X=0,9, Y=1,6 для трансформаторов М, Д;

X=1,0, Y=1,8 для трансформаторов ДЦ, Ц;

Температура наиболее нагретой точки обмотки в переходном тепловом режиме нагрева при продолжительности нагрузки (перегрузки)  $4\tau > h \geq 0,5\text{ч}$  определяют по формулам:

$$\theta_{\text{ннтн}} = \theta_{\text{охл}} + v_{\text{мн}} + v_{\text{ннтмк2}} \quad (5)$$

$$u_{mh} = u_{mk} + (u_{mk2} - u_{mk1}) \cdot \left(1 - e^{-\frac{h}{\tau}}\right) \quad (6)$$

$$u_{hнтmk2} = u_{hнтмноm} K_2^Y \quad (7)$$

При систематических нагрузках допустимую перегрузку  $K_2$  можно определять по табл. 3 при соответствующих значениях  $K_1$ ,  $h$ ,  $\theta_{охл}$ .

Пример 1. Определить, допустима ли систематическая нагрузка трансформатора ТМ-2500  $U_{вн}=10$  кВ при  $K_1=0,8$ ,  $K_2=1,3$ ,  $h=6$  ч для г. Мурманска.

Решение. По табл. 2 определяем  $\theta_{охл}$ :

Для г. Мурманска  $\theta_{охл}=3,4^\circ\text{C}$ .

Таблица 3

**Максимальнодопустимые схематические нагрузки трансформаторов с видами охлаждения М и Д**

h, ч	$\theta_{охл} = 0^\circ\text{C}$					$\theta_{охл} = 10^\circ\text{C}$				
	$K_2$ при значениях $K_1 = 0,5 - 0,9$					$K_2$ при значениях $K_1 = 0,5 - 0,9$				
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1,0	2,00	2,00	2,00	1,99	1,91	2,00	2,00	1,94	1,86	1,76
2,0	1,80	1,77	1,74	1,69	1,64	1,70	1,67	1,63	1,58	1,51
4,0	1,51	1,50	1,48	1,45	1,48	1,43	1,41	1,39	1,36	1,32
6,0	1,39	1,38	1,37	1,36	1,34	1,31	1,30	1,29	1,27	1,24
8,0	1,33	1,32	1,31	1,30	1,29	1,25	1,24	1,23	1,22	1,20
12,0	1,26	1,26	1,25	1,25	1,24	1,18	1,18	1,17	1,16	1,15
24,0	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08

По табл. 3 при  $K_1=0,8$  и  $h=6$  ч определяем значение  $K_2$ .  $K_2=1,36$  при  $\theta_{охл}=0^\circ\text{C}$  и  $K_2=1,27$  при  $\theta_{охл}=10^\circ\text{C}$ . Применяем линейную интерполяцию для определения  $K_2$  при  $\theta_{охл}=3,4^\circ\text{C}$ .

$$K_{2.(3,4)} = K_{2.(0)} - \frac{K_{2.(0)} - K_{2.(10)}}{10} \cdot \theta_{охл} = 1,33$$

$1,3 < 1,33$  следовательно, такая нагрузка трансформатора допустима в Мурманске.

Пример 2. Определить, допустима ли аварийная нагрузка трансформатора ТМ-1600,  $U_{вн}=10$  кВ при  $K_1=0,7$   $K_2=1,4$   $h=8$  ч для г. Санкт-Петербурга в летний период.

Решение. По типу трансформатора определяем:

вид системы охлаждения – М, постоянная трансформатора  $\tau=2,5$  ч,  $u_{мноm}=60^\circ\text{C}$ ,  $\Delta P_{кз}=18$  кВт,  $\Delta P_{хх}=3,3$  кВт,  $d=\Delta P_{кз}/\Delta P_{хх}=18/3,3=5,45$ ,  $X=0,9$ ,  $Y=1,6$ .

По табл. 2 для Санкт-Петербурга  $\theta_{охл}=16,4^\circ\text{C}$ , по формуле 3:

$$u_{hнтмноm} = 90 - 60 - 16,4 = 21,6^\circ\text{C}$$

По формулам (4 – 7) определяем температуру наиболее нагретой точки обмотки.

Превышение температуры масла над температурой охлаждающего воздуха:

$$\begin{aligned} u_{mh} &= u_{мноm} \cdot \left(\frac{1+d \cdot K_1^2}{1+d}\right)^X + \left[ u_{ноm} \cdot \left(\frac{1+d \cdot K_2^2}{1+d}\right)^X - \left(\frac{1+d \cdot K_1^2}{1+d}\right)^X \right] \cdot \left(1 - e^{-\frac{h}{\tau}}\right) \\ &= 60 \cdot \left(\frac{1+5,45 \cdot 0,7^2}{1+5,45}\right)^{0,9} \\ &+ \left[ 60 \cdot \left(\frac{1+5,45 \cdot 1,4^2}{1+5,45}\right)^{0,9} - 60 \cdot \left(\frac{1+5,45 \cdot 0,7^2}{1+5,45}\right)^{0,9} \right] \cdot \left(1 - e^{-\frac{8}{2,5}}\right) \\ &= 60 \cdot 0,569^{0,9} + (60 \cdot 1,81^{0,9} - 60 \cdot 0,569^{0,9}) \cdot 0,959 = 99,6^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Превышение температуры наиболее нагретой точки обмотки над температурой масла:

$$u_{hнтmk} = u_{hнтмноm} K_2^Y = 21,6 \cdot 1,4^{1,6} = 39,9^\circ\text{C}$$

Температура наиболее нагретой точки обмотки:

$$\theta_{\text{ннтн}} = \theta_{\text{охл}} + u_{\text{mh}} + u_{\text{ннтмк2}} = 21,6 + 99,6 + 36,9 = 158,1^{\circ}\text{C}$$

Допустимое значение при авариях  $\theta_{\text{ннтмак}}=160^{\circ}\text{C}$ .  $158,1 < 160$ , следовательно, такая перегрузка допустима.

Относительный расчетный износ витковой изоляции обмоток можно определять с помощью данных табл. 4 и 5. Для суточного графика нагрузки  $F$  определяется как отношение износа изоляции при температуре наиболее нагретой точки обмотки  $\theta_{\text{ннт}}$  за сутки при фактическом графике нагрузки к нормальному износу за сутки при базовой температуре  $\theta_{\text{ннт}}$ .

Пример 3. Определить относительный износ витковой изоляции трансформатора при аварийной перегрузке по данным примера 2.

По табл. 4 при  $K_1=0,7$   $K_2=1,4$   $h=8$  ч определяем  $F_{20}=37,37$  «нормальных суток».

Находим  $f$  при  $\theta_{\text{охл}}=16,4^{\circ}\text{C}$  путем интерполирования данных из табл. 5.  $f_{20}=1$ ,  $f_{10}=0,32$   
 $f=1-((1-0,32)/10)(20-16,4)=0,755$

$F=37,37*0,755=28$  «нормальных суток».

Таблица 4

**Относительный износ витковой изоляции обмоток  $F$  трансформаторов с видами охлаждения  $M, D$  при  $\theta_{\text{охл}} = 20^{\circ}\text{C}$**

h, ч	$K_2$	F при $K_1 = 0,5 - 1,0$					
		0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
6	1,3	2,65	3,09	3,72	4,66	6,19	9,98
	1,4	14,06	12,73	15,06	18,41	23,40	31,42
	1,5	50,87	58,06	67,94	81,66	101,23	130,37
	1,6	257,01	291,56	338,35	402,15	490,60	616,69
8	1,3	6,60	7,29	8,23	9,57	11,56	14,90
	1,4	30,59	33,50	37,37	42,60	49,92	60,75
	1,5	156,87	170,67	188,75	212,56	244,47	288,69
	1,6	886,32	959,63	1054,51	1177,25	1337,56	1551,16
12	1,3	18,93	19,92	21,22	22,97	25,43	29,21
	1,4	96,82	101,29	107,04	114,48	124,34	138,05
	1,5	584,05	570,96	599,94	636,53	683,28	744,56
	1,6	3423,95	3555,60	3720,05	3924,32	4179,09	4501,39

Таблица 5

**Значения коэффициента  $f$  для определения суточного износа изоляции при различных  $\theta_{\text{охл}}$**

$\theta_{\text{охл}}, ^{\circ}\text{C}$	30	20	10	0	-10	-20
$f$ , о.е.	3,20	1,00	0,32	0,10	0,03	0,01

**Примерные критерии оценки контрольной работы**

«Зачёт» - студент знает и хорошо ориентируется в материале первого задания; отвечает на поставленные вопросы в большинстве случаев без серьезных ошибок; умеет применять полученные знания и умения при решении большинства задач; второе задание выполняет правильно, без серьезных ошибок.

«Незачёт» - студент имеет отдельные представления о материале первого задания; не может полно и правильно ответить на поставленные вопросы, при ответах допускает

серьезные ошибки; задачи решены неправильно или с многочисленными и/или грубыми ошибками.