

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
“Оренбургский государственный университет”

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий

О.И.ПИЛИПЕНКО

ВЫБОР СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОМУ ЗАДАНИЮ
по дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий»
для студентов специальности 180400

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом
государственного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
“Оренбургский государственный университет”

Оренбург 2003

ББК 31.261.8Я7
П 32
УДК 621.314.222.6 (07)

Рецензент

кандидат технических наук, доцент В.М. Вакулюк

Пилипенко О.И.
П32 **Выбор силовых трансформаторов: Методические указания к расчетно-графическому заданию.**
- Оренбург: ГОУ ОГУ, 2003.- 15 с.

Методические указания включают теоретические положения, описание методики проверки перегрузочной способности масляных трансформаторов и пример выбора цеховой трансформаторной подстанции.

Методические указания предназначены для выполнения расчетно-графического задания по дисциплине “ электроснабжение промышленных предприятий “ студентами очного и заочного обучения специальности 180400.

ББК 31.261.8Я7

© Пилипенко О.И., 2003
© ГОУ ОГУ, 2003

Содержание

Введение	4
1 Выбор силовых трансформаторов	5
1.1 Выбор требуемого числа трансформаторов	5
1.2 Выбор конструктивного исполнения трансформаторов	5
1.3 Выбор номинальных напряжений и способа регулирования вторичного напряжения трансформатора	6
1.4 Выбор номинальной мощности трансформаторов	7
1.5 Выбор группы и схемы соединения обмоток трансформаторов	10
2 Пример выбора силовых масляных трансформаторов цеховой ТП	12
Список использованных источников	15

Введение

В системах электроснабжения промышленных предприятий главные понизительные и цеховые подстанции используют для преобразования и распределения электроэнергии, получаемой обычно от энергосистем. На всех подстанциях для изменения напряжения переменного тока служат силовые трансформаторы различного конструктивного исполнения, выпускаемые в широком диапазоне номинальных мощностей и напряжений.

Выбор трансформаторов заключается в определении их требуемого числа, типа, номинальных напряжений и мощности, а также группы и схемы соединения обмоток.

Цеховые трансформаторные подстанции (ТП) в настоящее время часто выполняются комплектными (КТП), и во всех случаях, когда этому не препятствуют условия окружающей среды и обслуживания, устанавливаются открыто. Правильное определение числа и мощности цеховых трансформаторов возможно только с учетом следующих факторов: категории надежности электроснабжения потребителей; компенсации реактивных нагрузок на напряжении до 1 кВ; перегрузочной способности трансформаторов в нормальном и аварийном режимах; шага стандартных мощностей; экономичных режимов работы трансформаторов в зависимости от графика нагрузки.

1 Выбор силовых трансформаторов

1.1 Выбор требуемого числа трансформаторов

Обычно на подстанции выбирают один или два трансформатора.

При этом однитрансформаторные подстанции выбирают:

- для питания электроприемников, допускающих питание только от одного резервированного источника (электроприемников III категории);
- для питания электроприемников любых категорий через замкнутые сети, подключенные к двум или нескольким подстанциям (или через незамкнутые сети, связанные между собой резервными линиями).

Два трансформатора устанавливают на подстанциях, питающих электроприемники I или II категории и не имеющих на вторичном напряжении связи с другими подстанциями.

Чтобы оба трансформатора могли надежно резервировать друг друга, их запитывают от независимых источников по не зависящим друг от друга линиям. Ввиду того, что взаимное резервирование трансформаторов должно быть равнозначным, их выбирают одинаковой мощности.

Главные понизительные подстанции (ГПП) предприятий, как правило, сооружают двухтрансформаторными.

Необходимость в большем числе трансформаторов встречается редко.

В соответствии с /1/,/2/ и /6/ однитрансформаторные подстанции рекомендуется применять при наличии в цехе электроприемников, допускающих перерыв электроснабжения на время доставки «складского» резерва, или при резервировании, осуществляемом по линиям низшего напряжения от соседних ТП, т.е. они допустимы для потребителей III и II категорий, а также при наличии в сети 380-660 В небольшого количества (до 20%) потребителей I категории.

Двухтрансформаторные подстанции рекомендуется применять в следующих случаях:

- при преобладании потребителей I категории и наличии потребителей особой группы (последним необходим третий источник);
- для сосредоточенной цеховой нагрузки и отдельно стоящих объектов общезаводского назначения (компрессорные и насосные подстанции);
- для цехов с высокой удельной плотностью нагрузок (выше 0,5-0,7 кВА/м²).

1.2 Выбор конструктивного исполнения трансформаторов

По конструктивному исполнению трансформаторы делят на масляные, заполненные синтетическими жидкостями и сухие /3/. Первые из них обладают хорошим отводом тепла от обмоток и сердечника, хорошей диэлектрической пропиткой изоляции, надежной защитой активных частей от воздействия

окружающей среды, дешевизной. Их недостаток – возможность возникновения пожара, взрыва или выброса продуктов разложения масла при случайном повреждении изоляции, приводящая к дуговому короткому замыканию (КЗ) внутри бака трансформатора, особенно при отказе или неправильном срабатывании защиты. Поэтому такие трансформаторы используют для наружной установки или для установки в специальных трансформаторных помещениях подстанций.

Если трансформаторы должны устанавливаться внутри цеха в целях приближения ТП к центру электрических нагрузок, то по соображениям пожарной безопасности используют сухие (безмасляные) трансформаторы. Условия охлаждения таких трансформаторов хуже, чем у масляных, поэтому плотность тока в их обмотках меньше, а габариты, расход активных материалов и стоимость соответственно больше. Следовательно, выбор типа трансформатора (масляного или сухого) является технико-экономической задачей.

В сухих трансформаторах используют различные изоляционные материалы. Наиболее надежной считается литая изоляция из затвердевающих синтетических смол и, обычно на две трети, кварцевого порошкового заполнителя.

Сухие трансформаторы повышенной пожарной безопасности выпускаются шведской фирмой «Мора трансформер». Их номинальная мощность от 50 до 5000 киловольтампер (кВА). Благодаря воздушно-стекловолоконной витковой изоляции и керамическим опорно-изоляционным конструкциям количество сгораемых веществ в них сокращено до 0,9 - 1,6 процента от общей массы трансформатора. Самостоятельное горение таких трансформаторов невозможно, а тепловыделение при их сгорании в огне в 5 - 10 раз меньше, чем в случае сухих трансформаторов с литой эпоксидной изоляцией, или 40 - 80 раз меньше, чем в случае масляных трансформаторов.

Пожарная безопасность трансформатора обеспечивается и при применении синтетических негорючих заполняющих жидкостей. В настоящее время разработаны новые негорючие и при этом нетоксичные жидкости, например, тетрахлорбензилтолуол, которые пока не нашли широкого применения.

1.3 Выбор номинальных напряжений и способа регулирования вторичного напряжения трансформаторов

Для двухобмоточных трансформаторов в паспортных данных приводятся номинальные напряжения обмотки высшего и низшего напряжения – $U_{ВН}$ и $U_{НН}$ соответственно. Для трехобмоточных – соответственно номинальные напряжения обмоток высшего, среднего и низшего напряжения - $U_{ВН}$, $U_{СН}$ и $U_{НН}$.

По способу регулирования вторичного напряжения трансформаторы делят на:

1) регулируемые при помощи переключения отводов первичной обмотки при отключении трансформатора; такие трансформаторы снабжены устройством ПБВ (переключения без возбуждения);

2) регулируемые под нагрузкой, т.е. при помощи переключения отводов первичной обмотки без отключения трансформатора; такие трансформаторы снабжены устройством РПН (регулирования под нагрузкой);

В первом случае возможны нечастые сезонные изменения коэффициента трансформации в пределах от -5 до +5 процентов; обычно применяются пять ступеней переключения (-5; -2,5; 0; +2,5; +5 процентов).

Во втором случае число ступеней больше (например, 13 ступеней в пределах от -9 до +9 процентов или 17 ступеней в пределах от -12 до +12 процентов, или 19 ступеней в пределах от -16 до +16 процентов). Трансформатор с РПН снабжен внешним контактным устройством для автоматического переключения ступеней.

В обоих случаях нулевой отвод имеет напряжение, соответствующее $U_{вн}$ трансформатора.

Первичное напряжение ГПП предприятий поддерживается энергосистемами настолько стабильным, что обычно необходимость применения трансформаторов с РПН отпадает.

1.4 Выбор номинальной мощности трансформаторов

Основным фактором, определяющим требуемую номинальную мощность трансформатора согласно /3/, является допустимая относительная аварийная нагрузка. По ГОСТ 14209-97 она определяется по соображениям допустимого дополнительного теплового износа изоляции трансформатора за время аварийного режима с учетом температуры охлаждающей среды, типа трансформатора и формы суточного графика нагрузки в аварийных условиях.

В зависимости от исходных данных различают два метода выбора номинальной мощности трансформаторов:

1) по заданному суточному графику нагрузки цеха за характерные сутки года для нормальных и аварийных режимов;

2) по расчетной мощности для тех же режимов.

В соответствии с ГОСТ 11920-85 и 12965-85 цеховые трансформаторы имеют следующие номинальные мощности: 100, 160, 250, 400, 630, 1000, 1600, 2500 кВА.

В первом случае выбор цеховых трансформаторов аналогичен выбору трансформаторов ГПП, по /3/.

При этом согласно ГОСТ 14209-97, по /3/ (глава третья), /2/ (глава четвертая) или /4/ (раздел первый), исходный график нагрузки (на рисунке 1а) преобразуют в эквивалентный двухступенчатый на рисунке 1б, ступеням которого соответствуют эквивалентная начальная нагрузка S_1 и перегрузка S_2 с продолжительностью соответственно t_1 и h .

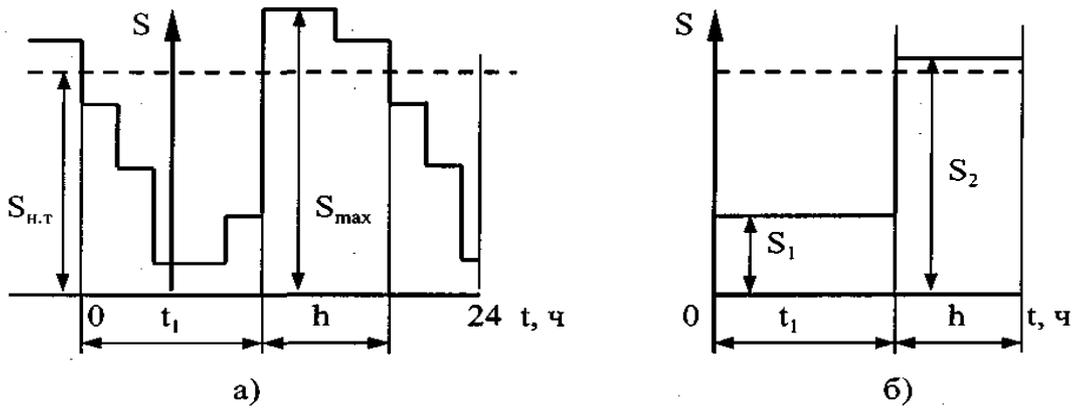


Рисунок 1 - Переход от фактического суточного графика нагрузки (а) на эквивалентный двухступенчатый (б)

Так как мощность трансформатора неизвестна, то для преобразования графика используют приближенный подход. Определяют среднеквадратичную нагрузку по графику

$$S_{cp.kв} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T S_i^2 t_i dt} = \sqrt{\frac{\Delta t}{n} \sum_{i=1}^k S_i^2} \quad (1)$$

где Δt - интервал времени усреднения нагрузки;
 n - число этих интервалов за период $T = 24$ ч;
 t_i - продолжительность нагрузки S_i , ч.

Выделяют пиковую часть графика.

Определяют коэффициент начальной нагрузки по формуле

$$K_1 = \frac{S_1}{S_{H.T}} = \frac{1}{S_{H.T}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m S_i^2 t_i}{\sum_{i=1}^m t_i}} \quad (2)$$

где $S_{H.T}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА.

В этом случае вместо $S_{H.T}$ в расчете учитывают $S_{cp.kв}$.

Предварительно для большего по тепловому воздействию максимума нагрузки определяют коэффициент перегрузки K_2 эквивалентного графика:

$$K_2' = \frac{S_2'}{S_{H.T}} = \frac{1}{S_{H.T}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n S_i'^2 t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}} \quad (3)$$

где S_2' - перегрузка, кВА;

$\sum t_i = h'$, ч.

Значение K_2 сравнивают с K_{max} , соответствующим нагрузке S_{max} на графике (при этом следует учесть, что нагрузке $S_{H.T}$ соответствует $K = 1$).

Если $K'_2 \geq 0,9 K_{\max}$, то следует принять $K_2 = K'_2$.

Если $K'_2 < 0,9 K_{\max}$, то следует принять $K_2 = 0,9 K_{\max}$. В последнем случае продолжительность перегрузки должна быть скорректирована по формуле

$$h = \frac{(K'_2)^2 h'}{(0,9 \cdot K_{\max})^2}. \quad (4)$$

По найденным значениям K_1 и h по таблицам систематических перегрузок из /4/, составленным при различных значениях температуры окружающей среды для трансформаторов с различными системами охлаждения, определяют допустимый коэффициент систематической перегрузки $K_{2\text{доп}}$.

$$S_{H.T} = \frac{S'_2}{K_{2\text{доп}}}, \quad (5)$$

где S'_2 согласно (3) определяется по формуле

$$S'_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m S_i^2 t_i}{\sum_{i=1}^m t_i}}, \quad (6)$$

Если $K_{2\text{доп}} \geq K_2$, то трансформатор можно систематически перегружать по данному графику.

Принятые трансформаторы следует проверить по условию

$$S_{H.T} K_{2\text{доп}} \geq S_{\max}. \quad (7)$$

На двухтрансформаторных ТП дополнительно проверяется перегрузка трансформаторов в аварийном режиме с учетом возможного отключения потребителей третьей категории надежности по условию

$$S_{H.T} K_{2\text{доп ав}} \geq S_{pI, II}. \quad (8)$$

где $S_{pI, II}$ - расчетная нагрузка потребителей первой и второй категории надежности;

$K_{2\text{доп ав}}$ - допустимый коэффициент аварийной перегрузки.

При этом значения $K_{2\text{доп ав}}$ находятся так же - по таблицам аварийных перегрузок из /4/.

Если условия проверки не выполняются, следует увеличить $S_{H.T}$.

Допустимые аварийные перегрузки трансформаторов классов напряжения до 110 кВ включительно могут определяться также по /4/ - без учета начальной (предшествующей) нагрузки или при начальной нагрузке, не превышающей 0,8.

Во втором случае мощность трансформаторов определяется по средней нагрузке S_{CM} за максимально загруженную смену /2/.

$$S_{H.T} = \frac{S_{CM}}{N \cdot K_3}. \quad (9)$$

где N - число трансформаторов;

K_3 - коэффициент загрузки трансформатора.

Рекомендуется /12/ принимать следующие значения K_3 :

- при преобладании нагрузок I категории для двухтрансформаторных ТП $K_3 = 0.65 - 0.7$;

- при преобладании нагрузок II категории для однострансформаторных ТП в случае взаимного резервирования трансформаторов на низшем уровне $K_3 = 0.7 - 0.8$;

- при преобладании нагрузок II категории и наличии централизованного (складского) резерва трансформаторов, а также при нагрузках III категории $K_3 = 0.9 - 0.95$.

Принятые трансформаторы должны быть проверены по допустимой систематической и аварийной перегрузке по ГОСТ 14209-97 с помощью таблиц 1.38 и 1.39 /4/.

1.5 Выбор группы и схемы соединения обмоток трансформаторов

Группу соединения обмоток трансформаторов выбирают так, чтобы трансформаторы в максимально возможной степени отвечали следующим условиям:

- препятствовали возникновению высших гармоник в электрических сетях;

- выравнивали нагрузку между фазами первичной обмотки при несимметричной нагрузке вторичной обмотки;

- ограничивали сопротивление нулевой последовательности цепи КЗ в случае питания четырехпроводных сетей.

Для выполнения первого и второго условий одну обмотку трансформаторов соединяют в звезду (Y), а другую - в треугольник (Δ).

На ГПП предприятий в звезду, как правило, соединена обмотка высшего напряжения (35-220 кВ), так как это может потребоваться системой заземления нейтрали в сетях этого напряжения; обмотку низшего напряжения соединяют в треугольник. Соединение первичной обмотки в звезду облегчает, кроме того, регулирование напряжений путем переключения отводов. По этим причинам на ГПП промышленных предприятий используют преимущественно трансформаторы с группой соединения обмоток звезда-треугольник (Y/ Δ) или звезда с выведенной нейтральной точкой – треугольник (Y₀/ Δ). Такие же трансформаторы используют и на цеховых подстанциях, питающих трехпроводные сети низкого напряжения (например, сети напряжением 220 или 660 В без нейтрального проводника).

Для питания четырехпроводных сетей напряжением 220/380 или 380/660 В используют трансформаторы, у которых вторичная обмотка соединена в звезду с выведенной нейтральной точкой (Y₀) или в зигзаг с выведенной нейтральной точкой (Z₀). Для выполнения приведенных выше трех условий первичную обмотку следовало бы соединить в треугольник, и

оптимальной группой соединения трансформатора была бы Δ/Y_0 ; этим же требованиям, особенно в части симметрирования, удовлетворяет также группа Y/Z_0 , используемая при номинальной мощности трансформаторов от 25 до 100 кВ·А.

Группа Y/Y_0 этими положительными свойствами не обладает и, в частности, отличается повышенным сопротивлением нулевой последовательности, что затрудняет защиту сетей от однофазных КЗ, возникающих при замыканиях на корпус и т.п. Поэтому трансформаторы с группой соединения обмоток Y/Y или Y/Y_0 в большинстве случаев не рекомендуют для питания цеховых сетей низкого напряжения.

2 Пример выбора силовых масляных трансформаторов цеховой ТП

Выбрать без учета компенсации реактивной мощности силовые трансформаторы для подстанции, питающей цех со средней нагрузкой за максимально загруженную смену 451.85 кВ·А, если известно напряжение питания (10 кВ), среднегодовая температура в цехе (18° С), категории мощности электроприемников (I – 40%, II – 50%, III – 10%), и заданы суточные графики нагрузок цеха (рисунок 2).

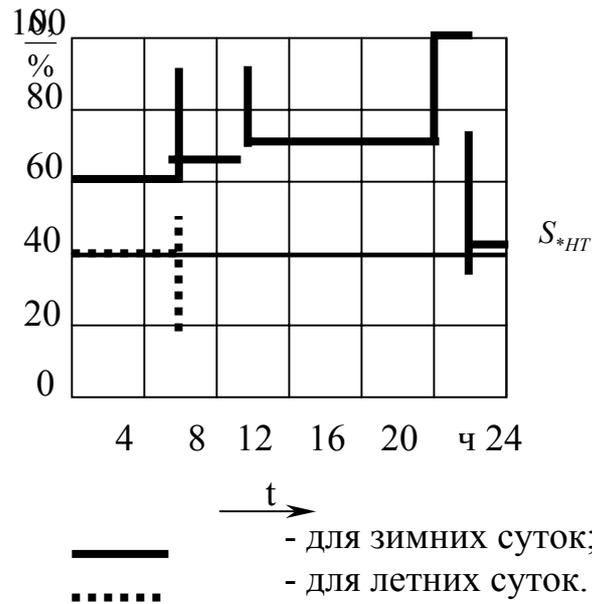


Рисунок 2 – Суточные графики нагрузки

При наличии в цехе 40 % электроприемников I категории и 50%- 2 категории следует выбрать двухтрансформаторную подстанцию.

Для выбора номинальной мощности трансформаторов определяется среднеквадратичная мощность в относительных единицах по формуле (1) для зимнего, наиболее загруженного графика

$$S_{*CP.KB.} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^R S_i^2 t_i}{\sum_{i=1}^k t_i}} = \sqrt{\frac{0.6^2 \cdot 8 + 0.9^2 \cdot 4 + 0.7^2 \cdot 10 + 1^2 \cdot 2}{24}} = 0.74.$$

За ориентировочную номинальную мощность трансформатора принимается $S_{cp. KB.}$

$$S_{H.T.} = 0.74 \cdot S_{MAX} = 0.74 \cdot 451.81 = 334.34 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

По /4/ выбирается стандартная $S_{H. T.} = 250 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$

Суммарная $S_{H. T.}$ по отношению к S_{max}

$$S_{*H.T.} = \frac{2 \cdot S_{H.T.}}{S_{MAX}} = \frac{2 \cdot 250}{451.81} = 1.11.$$

Следовательно, систематическую перегрузку трансформаторы испытывать не будут, так как в нормальном режиме два трансформатора способны пропустить нагрузку большую, чем S_{\max} .

Для проверки выбранных трансформаторов на аварийную перегрузку определяется зона перегрузки при условии, что в работе останется один трансформатор.

При этом

$$S_{*H.T} = \frac{S_{H.T}}{S_{\max}} = \frac{250}{451.81} = 0.56.$$

На зимнем графике рисунка 2 проводится прямая, соответствующая этой мощности.

Время аварийной перегрузки по графику 24 часа.

По ГОСТ 14209-97 находится коэффициент допустимой аварийной перегрузки без учета коэффициента начальной нагрузки.

По формуле (3) находится, фактический коэффициент перегрузки по графику

$$K'_2 = \frac{1}{S_{H.T}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m S_i^2 t_i}{\sum_{i=1}^m t_i}} = \frac{1}{0.56} \sqrt{\frac{0.9^2 \cdot 4 + 0.7^2 \cdot 10 + 1^2 \cdot 2}{16}} = 1.42.$$

$$K_{\max} = \frac{S_{\max}}{S_{H.T}} = \frac{1}{0.56} = 1.79.$$

$$0.9 \cdot K_{\max} = 0.9 \cdot 1.79 = 1.61.$$

Так как $K'_2 < 0.9 \cdot K_{\max}$, то принимается в расчет $K_2 = 0.9 \cdot K_{\max}$ и продолжительность перегрузки $h = 24$ ч пересчитывается по формуле (4):

$$h = \frac{(K'_2)^2 h'}{(0.9 \cdot K_{\max})^2} = \frac{1.42^2 \cdot 24}{1.61^2} = 18.48 \text{ ч.}$$

По таблице из /4/ без учета K_1 при $h = 18.48$ ч, температуре 18°C для трансформаторов с системами охлаждения М и Д находится $K_{2 \text{ доп ав}} = 1.4$. При этом табличные значения скорректированы с помощью линейной интерполяции.

Так как $K'_2 > K_{2 \text{ доп ав}}$, то следует принять большую на ступень $S_{H.T}$.

При $S_{H.T} = 400$ кВ·А

$$S_{H.T} K_{2 \text{ доп ав}} = 400 \cdot 1.4 = 560 \text{ кВ·А.}$$

Условие /8/ выполняется, и окончательно принимаются два трансформатора с $S_{H.T} = 400$ кВ·А.

Для заданного цеха выбирается комплектная подстанция КТП – 250 – 630 с параметрами, приведенными в /4/.

Технические данные трансформаторов приведены в разделе 2.33 /5/.

Тип – ТМФ-400/10; $S_{H.T} = 400$ кВ·А; $U_{ВН} = 10$ кВ; $U_{НН} = 0.4$ кВ; $\Delta P_{\text{xx}} = 950$ Вт;

$\Delta P_{кз} = 5500 \text{ Вт}$; $u_k = 4.5 \%$; $I_{xx} = 2.1 \%$; схема и группа соединения обмоток- Y/Y_0
– 0 – по рекомендациям из главы третьей /3/.

Список использованных источников

- 1 Правила устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 648 с.
- 2 Фёдоров А.А., Старкова Л.Е. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий: Учебн. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1987.- 385 с.
- 3 Ристхейн Э.М. Электроснабжение промышленных установок: Учеб. для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1991. - 424 с.
- 4 Неклепаев Б.Н., Крючков Н.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. – М.: Энергоатомиздат, 1989 . – 608 с.
- 5 Справочник по проектированию электроснабжения /Под ред. Ю.Г.Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
- 6 Нормы технологического проектирования электроснабжения промышленных предприятий. М.: ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 1994.
- 7 ГОСТ 14209-97. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки.