

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени ИСЛАМА КАРИМОВА

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**Кафедра:** «Электрические машины»

*На правах рукописи*

Уролов Ойбек Норменглиевич

Ф.И.О

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

**на тему:**

Анализ режимов холостого хода и короткого замыкания силового  
трансформатора мощностью 100 кВА, напряжением 10/0,4 кВ

**для присуждения степени «Бакалавр» по направлению  
5310700 «Электротехника, электромеханика и электротехнологии»**

Заведующий кафедрой: \_\_\_\_\_ д.т.н., проф. Пирматов Н.Б.

Руководитель: \_\_\_\_\_ д.т.н., проф. Холиков А.А.

ТАШКЕНТ 2017



## Содержание

Введение.....	3
Определение основных электрических величин.....	14
Определение линейных и фазных токов и напряжений обмоток ВН и НН.....	14
Определение активной и реактивной составляющих напряжения к.з.....	14
Расчёт основных размеров трансформатора. Выбор магнитной системы.....	15
Выбор марки и толщины листов стали и типа изоляции пластин, индукции в магнитной системе.....	15
Расчёт основных коэффициентов.....	17
Предварительный расчёт трансформатора и выбор соотношения основных размеров с учётом заданных значений $u_x$ , $P_k$ и $P_x$ .....	17
Определение основных размеров.....	20
Расчёт обмоток НН и ВН. Расчёт обмотки НН.....	21
Расчёт обмотки ВН.....	22
Расчёт параметров к.з. Расчёт потерь к.з.....	25
Расчёт напряжения к.з.....	26
Расчёт магнитной системы трансформатора. Определение размеров магнитной системы и массы стали трансформатора.....	28
Расчёт потерь и тока холостого хода.....	30
Тепловой расчёт трансформатора. Тепловой расчёт обмоток.....	31
Тепловой расчёт бака.....	32
Окончательный расчёт превышения температуры обмоток и масла.....	33
Приближённое определение массы конструктивных материалов и масла трансформатора.....	34
БЖД.....	35
Экология .....	45
Экономика .....	56
Заключение.....	60
Список литературы.....	61

## Введение

О программе мер по дальнейшему развитию возобновляемой энергетики, повышению энергоэффективности в отраслях экономики и социальной сфере на 2017 - 2021 годы (постановление президента республики Узбекистан. *Собрание законодательства Республики Узбекистан, 2017 г., № 22, ст. 424*).

Отметить, что в соответствии с Программой мер по сокращению энергоемкости, внедрению энергосберегающих технологий и систем в отраслях экономики и социальной сфере на 2015 - 2019 годы, одобренной постановлением Президента Республики Узбекистан от 5 мая 2015 года № ПП-2343, в республике в последние годы реализуется широкий комплекс мер по обеспечению энергосбережения в отраслях экономики и социальной сфере.

Введены стандарты по энергетическому менеджменту производства и энергетической маркировке бытового оборудования. Осуществляется внедрение энергоэффективных технологий в системе уличного освещения и энергосберегающих ламп для жилых и общественных зданий, прекращена реализация на территории республики ламп накаливания мощностью свыше 40 Вт. В бюджетных учреждениях Министерства народного образования, Министерства здравоохранения и Центра среднего специального, профессионального образования ведется замена энергоемких котлов отопления на энергоэффективные. Реализуются инвестиционные проекты по внедрению современных газотурбинных, паротурбинных установок в энергетической отрасли.

В рамках принятой Программы мер по дальнейшему развитию гидроэнергетики на 2017 - 2021 годы предусматривается дальнейшее развитие гидроэнергетического потенциала республики на основе строительства 42 новых и модернизации 32 действующих гидроэлектростанций, с

расширением к 2025 году мощностей экологически чистой гидроэнергии республики в 1,7 раза.

Вместе с тем, несмотря на принимаемые меры, энергоемкость отечественной экономики остается высокой, уровень диверсификации топливно-энергетического баланса за счет вовлечения в промышленное производство возобновляемых источников энергии не отвечает мировым тенденциям. В структуре первичного топлива для производства электрической и тепловой энергии доминируют природный газ и другие традиционные виды углеводородного топлива. При производстве электрической и тепловой энергии практически не используется имеющийся достаточно высокий потенциал возобновляемых источников энергии (солнечной, ветровой и биогазовой, гидроэнергии малых естественных и искусственных водотоков). В целях расширения использования возобновляемых источников энергии, сокращения энергоемкости производства, целевого внедрения в практику отечественных научно-технических разработок и исследований передовых апробированных международных энергосберегающих технологий, реализации приоритетных направлений в этой сфере, определенных Стратегией действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан в 2017 - 2021 годах:

1. Определить приоритетными направлениями дальнейшего развития возобновляемой энергетики, повышения энергоэффективности в отраслях экономики и социальной сфере на 2017 - 2021 годы:

внедрение инновационных технологий, научно-технических разработок в сфере развития возобновляемой энергетики и повышения энергоэффективности, расширение производства и локализации энергосберегающего оборудования и приборов, в том числе путем трансфера технологий и создания инженерных центров;

диверсификацию топливно-энергетического баланса в части производства электрической энергии с использованием возобновляемых и альтернативных источников энергии, энергетической утилизации вторичных

энергетических ресурсов, вовлечение субъектов предпринимательства в создание генерирующих мощностей на основе апробированных технологий использования солнечной, ветровой энергии, микро- и малых гидроэлектростанций; снижение энергоемкости выпускаемой продукции путем создания новых и модернизации, технического и технологического перевооружения действующих мощностей на основе внедрения современных энергоэффективных и энергосберегающих технологий.

2. Одобрить разработанную Министерством экономики, Министерством сельского и водного хозяйства, Академией наук Республики Узбекистан, АО «Узбекэнерго» и АО «Узбекгидроэнерго» Программу мер по дальнейшему развитию возобновляемой энергетики, повышению энергоэффективности в отраслях экономики и социальной сфере на 2017 - 2021 годы (далее - Программа мер), включающую:

целевые параметры по дальнейшему развитию возобновляемой энергетики согласно приложению № 1;

перечень инвестиционных проектов по развитию возобновляемой энергетики согласно приложению № 2;

комплекс мер по развитию использования возобновляемых источников энергии и повышению энергоэффективности в отраслях экономики и социальной сфере на 2017 - 2021 годы согласно приложению № 3;

целевые параметры снижения энергоемкости и экономии топливно-энергетических ресурсов в отраслях экономики на 2017 - 2021 годы согласно приложениям №№ 4, 4а;

график внедрения энергоэффективных отопительных котлов в бюджетных организациях на 2017 - 2021 годы согласно приложению № 5;

график внедрения энергоэффективных насосов и электродвигателей в насосных станциях водохозяйственных организаций Министерства сельского и водного хозяйства Республики Узбекистан на 2017 - 2021 годы согласно приложению № 6.

Трансформаторы – это наиболее распространенные устройства в современной электротехнике. Трансформаторы большой мощности составляют основу систем передачи электроэнергии от электростанций в линии электропередачи. Они повышают напряжение переменного тока, что необходимо для экономной передачи электроэнергии на значительные расстояния. В местах распределения энергии между потребителями применяют трансформаторы, понижающие напряжение до требуемых для потребителей значений. Наряду с этим трансформаторы являются элементами электроустановок, где они осуществляют преобразование напряжения питающей сети до значений, необходимых для работы последних.

Принцип действия и способ применения однофазного трансформатора был описан в 1876 году русским электротехником и изобретателем Яблочковым П.Н.

Русский электротехник, создатель техники трехфазного тока М. Доливо-Добровольский в 1890 г. Предлагает конструкцию трехфазного трансформатора, который в трехфазной сети позволит заменить три однофазных агрегата.

На рубеже XIX и XX веков дальнейшее развитие электроэнергетики стали ориентировать на применение переменного тока высокого напряжения в противовес концепциям в пользу постоянного тока и техники низких напряжений.

Прогресс трансформаторостроения в XX веке как у нас в стране, так и за рубежом в основном характеризовался следующими направлениями:

- а) обеспечение повышения предельных параметров трансформаторов в связи с ростом мощности энергосистем и энергоблоков;
- б) снижение размеров, массы и потерь энергии в каждом трансформаторе определенной мощности и класса напряжения.

Существенный вклад в развитие теории трансформаторов и методов их проектирования внесли ученые Г.Н. Петров, П.М Тихомиров и другие. Трансформаторостроение в конце XX века вышло на очень высокий уровень

развития. Прогресс в технико-экономических показателях трансформаторов в первую очередь обусловлен улучшением качества активных и изоляционных материалов, а также конструктивными достижениями, реализуемыми через так называемую параметрическую и структурную оптимизацию. Первая позволяет находить наилучшие значения параметров, вторая – наиболее рациональные конструктивные схемы взаимного расположения деталей и узлов трансформатора.

Как известно, материалы, используемые при производстве трансформаторов, подразделяются на активные, изоляционные и конструкционные. В качестве активных материалов применяются:

- электротехническая сталь - для изготовления магнитопровода;
- медь или алюминий - для изготовления обмоток.

Одним из основных активных материалов трансформатора является тонколистовая электротехническая сталь. В течение многих лет для магнитных систем трансформаторов применялась листовая сталь горячей прокатки с толщиной листов 0,5 или 0,35 мм. Качество этой стали постепенно улучшалось, однако удельные потери в ней были высоки.

Появление в конце 40-х годов холоднокатаной текстурованной стали, т.е. стали с определенной ориентировкой зерен (кристаллов), имеющей значительно меньшие удельные потери и более высокую магнитную проницаемость, позволило увеличить индукцию в магнитной системе и существенно уменьшить массу активных материалов при одновременном снижении потерь энергии в трансформаторе. Вместе с этим было получено сокращение расхода остальных материалов - изоляционных, конструкционных, масла и т.д.

Применение холоднокатаной стали позволило также уменьшить внешние габариты и увеличить мощность трансформатора в одной единице, что особенно важно для трансформаторов большой мощности, внешние размеры которых ограничиваются условиями перевозки по железным дорогам.

Одной из существенных особенностей холоднокатаной стали является анизотропия ее магнитных свойств, т.е. различие этих свойств в разных направлениях внутри листа или пластины стали. Наилучшие магнитные свойства (наименьшие удельные потери и наибольшую магнитную проницаемость) эта сталь имеет в направлении прокатки.

Конструкция магнитной системы трансформатора с учетом анизотропии магнитных свойств холоднокатаной стали должна быть выполнена так, чтобы во всех ее частях стержнях и ярмах - вектор индукции магнитного поля имел направление, совпадающее с направлением прокатки стали.

Существенно улучшить параметры трансформаторов можно посредством перехода на так называемые аморфные стали. Однако технологии подобного перехода пока не отработаны. Отдельные изготовленные за рубежом образцы с магнитопроводами из аморфной стали слишком дороги, что не позволяет пока говорить о ее массовом использовании при производстве трансформаторов.

Другой активный материал трансформатора – металл обмоток – в течение долгого времени не подвергался изменению. Низкое удельное электрическое сопротивление, легкость обработки (намотки, пайки), удовлетворительная стойкость по отношению к коррозии и достаточная механическая прочность электролитической меди сделали ее единственным материалом для обмоток трансформаторов в течение ряда десятилетий. Несмотря на это, относительно малое мировое распространение природных запасов медных руд заставило искать пути замены меди другим металлом, и в первую очередь, алюминием, более широко распространенным в природе. При переходе на алюминиевые обмотки был решен ряд задач технологического характера, связанных с технологией намотки алюминиевых обмоток, пайкой и сваркой алюминия. В настоящее время все новые серии трансформаторов общего назначения мощностью до 16 000 кВА включительно проектируются с алюминиевыми обмотками.

Открытие в 80-х годах проводниковых материалов, обладающих свойством высокотемпературной сверхпроводимости, открыло новые перспективы создания трансформаторов меньших габаритов со сниженными потерями. Удалось преодолеть главное препятствие использования сверхпроводимости: громоздкие криогенные системы для получения жидкого гелия были заменены простыми установками жидкого азота при атмосферном давлении. Именно это направление совершенствования конструкции трансформаторов может рассматриваться в качестве одного из наиболее перспективных.

Главным изоляционным материалом в силовых трансформаторах является трансформаторное масло – жидкий диэлектрик, сочетающий высокие изоляционные свойства со свойствами активной охлаждающей среды и теплоносителя.

В качестве изоляции обмоточного провода (медного или алюминиевого) используется кабельная бумага, которая имеет класс А нагревостойкости. Применение более нагревостойкой изоляции в масляных трансформаторах смысла не имеет, так как именно наличие масла ограничивает предельные температуры. В сухих силовых трансформаторах, где охлаждение обеспечивается воздухом, класс нагревостойкости обмоточной изоляции более высокий (В, F и т.д.).

Основные части трансформатора – это магнитопровод и обмотки. Магнитопровод трансформатора выполняют из листовой электротехнической стали. Перед сборкой листы с двух сторон изолируют. Такая конструкция магнитопровода дает возможность в значительной степени ослабить в нем вихревые токи и, в конечном итоге, увеличить коэффициент полезного действия. Часть магнитопровода, на которой располагают обмотки, называют стержнем.

Трансформаторы широко используют для следующих целей.

Для передачи и распределения электрической энергии. Обычно на электростанциях генераторы переменного тока вырабатывают электрическую

энергию при напряжении 6—24 кВ. Передавать же электроэнергию на дальние расстояния выгодно при больших напряжениях, поэтому на каждой электростанции устанавливают трансформаторы, повышающие напряжение.

В настоящее время для высоковольтных линий электропередачи в СНГ применяют силовые трансформаторы с масляным охлаждением напряжением 330, 500 и 750 кВ, мощностью до 1200-1600 МВ-А. В связи со строительством дальних линий электропередачи Экибастуз - Центр, Экибастуз - Урал и других напряжением 1150 кВ переменного тока наша электропромышленность создала трансформаторные группы, состоящие из трех однофазных трансформаторов мощностью 667 МВ-А, а для линий 1500 В постоянного тока - двенадцатифазные преобразовательные блоки с четырехобмоточными трансформаторами общей мощностью 1500 МВ-А. КПД таких трансформаторов составляет 98 - 99% и выше.

Для перспективных линий электропередачи переменного тока напряжением 1800-2000 кВ и постоянного тока напряжением 3000 кВ разрабатывают трансформаторы мощностью 1320 МВ-А на одну фазу.

Электрическая энергия распределяется между промышленными предприятиями и населенными пунктами, в городах и сельских местностях, а также внутри промышленных предприятий по воздушным и кабельным линиям при напряжении 220, 110, 35, 20, 10 и 6 кВ. Следовательно, во всех узлах распределительных сетей должны быть установлены трансформаторы, понижающие напряжение. Кроме того, понижающие трансформаторы следует устанавливать в пунктах потребления электроэнергии, так как большинство электрических потребителей переменного тока работает при напряжениях 220, 380 и 660 В. Таким образом, электрическая энергия при передаче от электрических станций к потребителям подвергается в трансформаторах многократному преобразованию (3 - 5 раз). Применяемые для этих целей трансформаторы могут быть одно- и трехфазными, двух- и трехобмоточными.

Для обеспечения нужной схемы включения вентилей в преобразовательных устройствах и согласования напряжений на входе и выходе преобразователя. В вентильных преобразователях, выпрямляющих переменный ток или преобразующих его из постоянного в переменный (инверторы), отношение напряжений на входе и выходе зависит от схемы включения вентилей. Поэтому если на вход преобразователя подается стандартное напряжение, то на выходе получается нестандартное. Для устранения этого недостатка вентильные преобразователи, как правило, снабжают трансформаторами, обеспечивающими стандартное выходное напряжение при принятой схеме включения вентилей. Кроме того, ряд схем включения вентилей требует обязательного применения трансформатора.

Трансформаторы, применяемые для этой цели, называют *преобразовательными*. Их мощность достигает тысяч киловольт-ампер, напряжение 110 кВ; они работают при частоте 50 Гц и более. Рассматриваемые трансформаторы выполняют одно-, трех- и многофазными с регулированием выходного напряжения в широких пределах и без регулирования.

В последнее время для возбуждения мощных турбо-и гидрогенераторов, электропривода и других целей все шире начинают применять трансформаторы с естественным воздушным охлаждением напряжением 3-24 кВ и мощностью 133-6300 кВ-А. Благодаря использованию в этих трансформаторах новой теплостойкой изоляции удается повысить их нагрузочную способность и в 1,3 - 1,5 раз сократить, массогабаритные показатели по сравнению с применявшимися ранее трансформаторами с масляным охлаждением.

Для различных технологических целей: сварки (сварочные трансформаторы), питания электротермических установок (электропечные трансформаторы) и др. Мощность их достигает десятков тысяч киловольт-ампер при напряжении до 10 кВ; они работают обычно при частоте 50 Гц.

Для питания различных цепей радио- и телевизионной аппаратуры; устройств связи, автоматики в телемеханике, электробытовых приборов; для

разделения электрических цепей различных элементов этих устройств; для согласования напряжений и т. п. Трансформаторы, используемые в этих устройствах, обычно имеют малую мощность (от нескольких вольт-ампер до нескольких киловольтампер), невысокое напряжение, работают при частоте 50 Гц и более. Их выполняют двух-, трех- и многообмоточными; условия работы, предъявляемые к ним требования и принципы проектирования весьма специфичны.

Для включения электроизмерительных приборов и некоторых аппаратов, например реле, в электрические цепи высокого напряжения или в цепи, по которым проходят большие токи, с целью расширения пределов измерения и обеспечения электробезопасности. Трансформаторы, применяемые для этой цели, называют *измерительными*. Они имеют сравнительно небольшую мощность, определяемую мощностью, потребляемой электроизмерительными приборами, реле и др.

Трансформаторы, перечисленные в п. 1, 2, 3 и частично в п. 4, предназначенные для преобразования электрической энергии в сетях энергосистем и потребителей электрической энергии, называют *силовыми*. Для режима их работы характерны неизменная частота переменного тока и очень малые отклонения первичного и вторичного напряжений от номинальных значений.

Силовые трансформаторы, выпускаемые отечественными заводами, разделены на несколько групп (габаритов) от I до VIII. Например, трансформаторы мощностью до 100 кВ•А включительно относят к габариту I, от 160 до 630 кВ • А - к габариту II, от 1000 до 6300 кВ • А - к габариту III и т. п.

## 1. Определение основных электрических величин

Мощность одной фазы трансформатора:  $S_{\phi} = S/m = 100/3 = 33.3$ , кВА.

Мощность на одном стержне:  $S' = S_{\phi} = 33.3$ , кВА.

### 1.1. Определение линейных и фазных токов и напряжений

#### обмоток ВНиНН

$$\text{ВН: } I_2 = \frac{S \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_2} = \frac{100 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10000} = 5.77, \quad \text{AI}_{\phi 2} = I_2 = 5.77, \quad \text{A} \quad U_{\phi 2} = \frac{U_2}{\sqrt{3}} = \frac{10000}{\sqrt{3}} = 5774, \quad \text{В}$$

$$\text{НН: } I_1 = \frac{S \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_1} = \frac{100 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 144.3, \quad \text{AI}_{\phi 1} = I_1 = 144.3, \quad \text{A} \quad U_{\phi 1} = \frac{U_1}{\sqrt{3}} = \frac{400}{\sqrt{3}} = 231, \quad \text{В}$$

### 1.2. Определение испытательных напряжений обмоток

По таблице 4.1 выбираем: ВН  $U_{исп2} = 35$ , кВ НН  $U_{исп1} = 5$ , кВ (ГОСТ 1516.1–76). Тип обмоток: ВН – цилиндрическая многослойная из круглого провода, НН – цилиндрическая двухслойная из прямоугольного провода. (см. табл. 5.8)

Изоляционные расстояния:

ВН:  $a_{12} = 9$ , мм  $a_{22} = 8$ , мм  $l_{02} = 20$ , мм (см. табл. 4.5)

НН:  $a_{01} = 4$ , мм  $l_{01} = 15$ , мм (см. табл. 4.4)

### 1.3. Определение активной и реактивной составляющих напряжения к.з

Ширина приведённого канала рассеяния:

$$a_p = a_{12} + (a_1 + a_2)/3 \quad \text{По таблице 3.3 выбираем } K = 1,25 \quad K = 0,79$$

$$(a_1 + a_2)/3 \approx K \cdot \sqrt[4]{S'} \cdot 10^{-2} = 0.79 \cdot \sqrt[4]{33.3} \cdot 10^{-2} = 0.019, \quad \text{м}$$

$$a_p = 0,009 + 0,019 = 0,028, \quad \text{м}$$

$$\text{Активная составляющая напряжения к.з: } u_a = \frac{P_k}{10S} = \frac{1970}{10 \cdot 100} = 1.97\%$$

$$\text{Реактивная составляющая напряжения к.з: } u_r = \sqrt{u_k^2 - u_a^2} = \sqrt{4.5^2 - 1.97^2} = 4.05\%$$

## 2. Расчёт основных размеров трансформатора

### 2.1 Выбор магнитной системы

Выбираем трёхфазную стержневую шихтованную магнитную систему с косыми стыками в четырёх и прямыми в двух углах.

Соединение верхних и нижних ярмовых балок – вертикальные шпильки.

Прессовка стержней путём забивания деревянных и планок между стержнем и обмоткой НН.

### 2.2. Выбор марки и толщины листов стали и типа изоляции пластин, индукции в магнитной системе

Материал магнитной системы холоднокатанная текстурованная рулонная сталь марки 3404 толщиной 0,35 мм. Индукция в стержне  $B_c=1,6$  Тл (см.табл. 2.4). Число ступеней 5 в сечении стержня. Коэффициент заполнения круга  $K_{кр}=0,92$ . (см.табл. 2.5). Изоляция пластин – нагревостойкое изоляционное покрытие;  $K_3=0,97$  (см.табл. 2.2). Коэффициент заполнения сталью  $K_c=K_{кр} * K_3=0,92*0,97=0,892$

Ярмо многоступенчатое, число ступеней 4. Ширина крайнего наружного пакета ярма

$a_я=60$ , мм (см.табл. 8.2). Коэффициент усиления ярма  $K_я=1,018$  (См.табл. 8.6).

Индукция в ярме:  $B_я=B_c/K_я=1,6/1,018=1,572$ , Тл.

Число зазоров в магнитной системе на косом стыке 4 на прямом 3.

Индукция в зазоре на прямом стыке  $B_3'=1,6$ , Тл. на косом

$$B_3'' = B_c / \sqrt{2} = 1,6 / \sqrt{2} = 1,131, \text{ Тл.}$$

Удельные потери в стали  $p_c=1,295$ , Вт/кг.  $p_я=1,251$  б Вт/кг.

Удельные потери в зоне шихтованного прямого стыка  $p_3''=990$ , Вт/м<sup>2</sup>.

в зоне косого стыка  $p_3''=515$ , Вт/м<sup>2</sup>. (см.табл. 8.10).

Удельная намагничивающая мощность  $q_c=1.775$ , ВА/кг.  $q_я=1.675$  ВА/кг.

Для зазоров на прямых стыках  $q_3''=23500$ , ВА/м<sup>2</sup>.

Для зазоров на косых стыках  $q_3'=4000$ , ВА/м<sup>2</sup>. (см.табл. 8.17).

Расстояние обмотки ВН от нижнего ярма  $l_0'=20$ , мм. от верхнего  $l_0''=20$ , мм.

По табл. 3.6 находим коэффициент, учитывающий отношение потерь в обмотках к потерям к.з.  $K_d=0,97$ .

Для алюминиевых обмоток по таблице 3.4:  $a=d_{12} * 1.06/d=1.36*1.06=1.44$

по табл. 3.5  $b=2*a_2*1.25/d=0.55*1.25=0.69$   $K_p=0.95$

Для выбранной магнитной системы, потери х.х:  $K_{пд}=1,22$   $K_{пу}=10,18$

$$P_x = K_{пд} p_c (G_c + 0.5 K_{пу} G_y) + K_{пд} p_{я} (G_{я} - 6 G_y + 0.5 K_{пу} G_y) =$$

$$= 1.22 * 1.295 (G_c + 0.5 * 10.18 * G_y) + 1.22 * 1.251 (G_{я} - 6 * G_y + 0.5 * 10.18 * G_y) =$$

$$= 1.58 * G_c + 1.526 * G_{я} + 6.652 * G_y$$

Намагничивающая мощность:

$$K_{ту} = 42,45 \quad K_{тр} = 1,49 \quad K_{тз} = 1,01 \quad K_{т.пл} = 1,2 \quad K_{тя} = 1,0 \quad K_{тп} = 1,04 \quad K_{тш} = 1,01$$

$$K'_{тд} = K_{тр} * K_{тз} = 1,49 * 1,01 = 1,5 \quad K''_{тд} = K_{тя} * K_{тп} * K_{тш} = 1 * 1,04 * 1,01 = 1,05$$

$$Q_x = K'_{тд} K''_{тд} q_c (G_c + 0.5 K_{ту} K_{т.пл} G_y) + K'_{тд} K''_{тд} q_{я} (G_{я} - 6 G_y + 0.5 K_{ту} K_{т.пл} G_y) +$$

$$K''_{тд} S q_3 n_3 \Pi_3 =$$

$$= 1,5 * 1,05 * 1,775 (G_c + 0.5 * 42,45 * 1,2 G_y) + 1,5 * 1,05 * 1,675 (G_{я} -$$

$$6 G_y + 0.5 * 42,45 * 1,2 G_y) +$$

$$+ 1,05 * 4000 * 4 * 0,011 * x^2 + 1,05 * 23500 * 3 * 0,011 * x^2 =$$

$$= 2,796 G_c + 2,638 G_{я} + 122,56 G_y + 999 x^2$$

Определяем основные размеры трансформатора:

$$d = Ax = 0.109x; \quad d_{12} = aAx = 0.157x; \quad l = pd_{12}/b = 2.48d_{12}; \quad 2a_2 = bd; \quad C = d_{12} + a_{12} + 2a_2 + a_{22}$$

Дальнейший расчёт проводим в форме таблицы:

Данные таблицы рассчитаны при помощи программы «MicrosoftExcel», на основе вышеупомянутых и следующих формул:

$$G_c = \frac{A_1}{x} + A_2 x^2 \quad G_{я} = B_1 x^3 + B_2 x^2 \quad G_{СТ} = G_c + G_{я}$$

$$G_0 = \frac{C_1}{x^2} \quad G_{np} = 1,1 * 1,03 G_0 \quad C'_{ак} = K_{oc} G_{np} + G_{СТ}$$

$$J = \sqrt{\frac{K_{\delta} P_k}{12,75 G_0}} \quad \sigma_p = M x^3 i_0 = \frac{Q_x}{10S}$$

Таблица 1. Предварительный расчёт трансформатора ТМ-100/10 с плоской шихтованной магнитной системой и алюминиевыми обмотками

b	1	1,4	1,8	2,2	2,6	3
x	1	1,087757	1,158292	1,217883	1,269823	1,316074
x <sup>2</sup>	1	1,183216	1,341641	1,48324	1,612452	1,732051
x <sup>3</sup>	1	1,287052	1,554012	1,806413	2,047529	2,279507
A <sub>1</sub> /x	93,7	86,14054	80,89496	76,93676	73,78979	71,1966
A <sub>2</sub> *x <sup>2</sup>	7,64	9,03977	10,25014	11,33195	12,31913	13,23287
G <sub>c</sub>	101,34	95,18031	91,1451	88,26872	86,10892	84,42947
B <sub>2</sub> *x <sup>3</sup>	71,55	92,08856	111,1896	129,2488	146,5007	163,0987
B <sub>2</sub> *x <sup>2</sup>	4,4	5,20615	5,903219	6,526255	7,094787	7,621024
G <sub>я</sub>	75,95	97,29471	117,0928	135,7751	153,5955	170,7198
G <sub>ст</sub>	177,29	192,475	208,2379	224,0438	239,7044	255,1492
G <sub>у</sub>	5,715	7,355501	8,881179	10,32365	11,70163	13,02738
1.58G <sub>c</sub>	160,1172	150,3849	144,0093	139,4646	136,0521	133,3986
1.526G <sub>я</sub>	115,8997	148,4717	178,6836	207,1928	234,3867	260,5183
6,652G <sub>у</sub>	38,01618	48,92879	59,0776	68,67292	77,83922	86,65815
P <sub>x</sub>	314,0331	347,7854	381,7704	415,3303	448,278	480,5751
П <sub>c</sub>	0,008	0,009466	0,010733	0,011866	0,0129	0,013856
2.796G <sub>c</sub>	283,3466	266,1241	254,8417	246,7993	240,7605	236,0648
2.638G <sub>я</sub>	200,3561	256,6634	308,8908	358,1747	405,1848	450,3587
122.56G <sub>у</sub>	700,4304	901,4902	1088,477	1265,266	1434,151	1596,636
999x <sup>2</sup>	999	1182,033	1340,299	1481,756	1610,839	1730,319
Q <sub>x</sub>	2183,133	2606,311	2992,509	3351,997	3690,936	4013,378
I <sub>0</sub> , %	2,183133	2,606311	2,992509	3,351997	3,690936	4,013378
G <sub>0</sub>	53,81	45,47775	40,10761	36,27869	33,37155	31,06722
1.03G <sub>0</sub>	55,4243	46,84208	41,31083	37,36706	34,37269	31,99923

Gпр	60,96673	51,52629	45,44192	41,10376	37,80996	35,19916
KосGпр	110,3498	93,26259	82,24987	74,39781	68,43603	63,71048
C'ач	287,6398	285,7376	290,4877	298,4416	308,1404	318,8597
J	1668908	1815367	1933083	2032535	2119218	2196406
$\sigma_p$	2,623	3,375937	4,076174	4,738221	5,370668	5,979147
d	0,109	0,118566	0,126254	0,132749	0,138411	0,143452
d <sub>12</sub>	0,15696	0,170734	0,181806	0,191159	0,199311	0,206571
l	0,493104	0,383127	0,317311	0,272974	0,240829	0,216321
C	0,24917	0,269545	0,285921	0,299756	0,311815	0,322553

Результаты расчётов, приведённые в таблице 1, показаны в виде графиков на рис. 1.

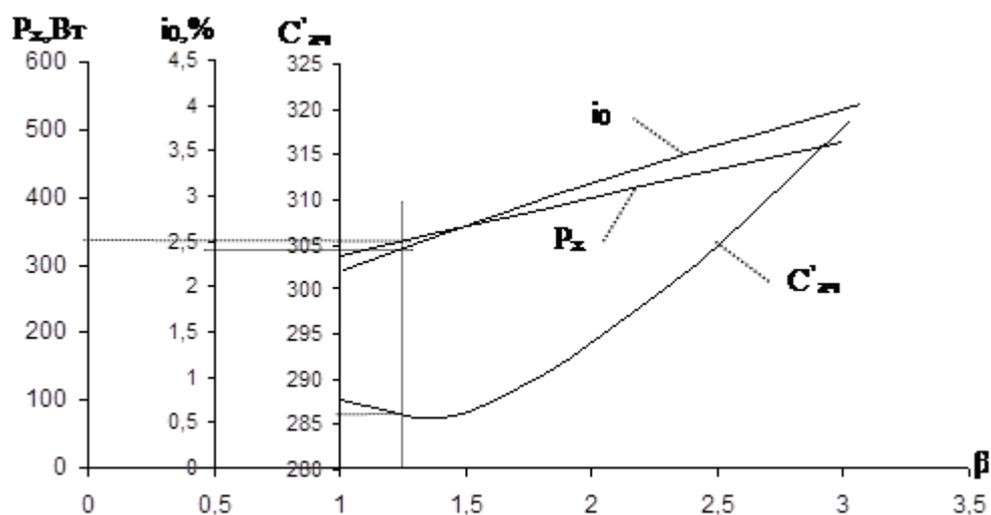


Рис.1. Трансформатор ТМ-100/10. Зависимость  $P_x$ ,  $i_0$  и  $C'_{ач}$  от  $\beta$ .

Предельные значения  $\beta$  для заданных потерь х.х  $P_x=330$  Вт,  $\beta=1,25$ . Предельное значение  $\beta$  для заданного тока холостого хода  $i_0=2.6\%$  составляет  $\beta=1,4$ . Ранее были установлены предельные значения, ограниченные плотностью тока,  $\beta=6,851$ .

С учётом заданных критериев выбираем значение  $b=1,25$ ; соответствующее ему значение  $d$  по шкале нормализованных диаметров составляет 0.115 м. В этом случае стоимость активной части трансформатора минимальна, потери холостого хода соответствуют заданному, а ток холостого хода меньше заданного значения.

### 3. Расчёт обмоток НН и ВН

#### 3.1 Расчёт обмотки НН

Ориентировочное сечение витка: 
$$\Pi'_B = \frac{I_{\phi 1}}{J_{cp}} = \frac{144,3}{1,73 \cdot 10^6} = 83,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

По таблице 5.8 по мощности обмотки  $S' = 33,3$  кВА, номинальному току  $I_1 = 144,3$  А и

напряжению 0,4 кВ выбираем цилиндрическую трёхслойную обмотку из алюминиевого прямоугольного провода.

По сечению витка выбираем провод АПБ сечением  $83,9 \text{ мм}^2$

АПБ  $1 \times \frac{16 \times 5,3}{16,5 \times 5,8}$ , изоляция  $2\delta = 0,45 \approx 0,5$ , мм на две стороны. (Табл.5.2)

Сечение витка  $\Pi_1 = 83,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$   $J_2 = \frac{I_{\phi 1}}{\Pi_1} = \frac{144,3}{83,9 \cdot 10^{-6}} = 1,72 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2.$

Общий суммарный радиальный допустимый размер проводов для алюминиевого провода:

$b \leq \frac{qk_3}{1,72 \cdot J_1^2 \cdot 10^{-8}}$  принимаем  $q=1200$ , Вт/м;  $k_3=0,8$

$b \leq \frac{1200 \cdot 0,8}{1,72^2 \cdot 10^{12} \cdot 10^{-8}} = 0,0189 \text{ м}.$

Следовательно, в этом предельном размере можно уместить

$\frac{b}{a'} = \frac{0,0189}{0,0058} = 3,25 \approx 3$  слоя провода с радиальным размером  $a' = 5,8 \text{ мм}$

Число витков в одном слое:  $\omega_{1,сл} = \frac{l}{b'} - 1 = \frac{0,417}{0,0165} - 1 = 24,27 = 24 \text{ витка}$

Число слоёв обмотки  $n_{сл} = \frac{\omega}{\omega_{1,сл}} = \frac{71}{24} = 2,96 = 3 \text{ слоя}$  24,24 и 23 витка.

Таким образом, радиальный размер обмотки  $a_1 = a' * n_{\text{эл}} = 5,8 * 3 = 17,4 \text{ мм} \leq b$

Обмотка наматывается на бумажно-бакелитовом цилиндре с размерами

$$\frac{0,121}{0,123} \times 0,43 \text{ м.}$$

Диаметры обмотки:

внутренний:  $D_1' = d + 2 * a_{01} = 0.115 + 2 * 0.004 = 0.123 \text{ м}$

внешний:  $D_1'' = D_1' + 2 * a_1 = 0.123 + 2 * 0.0174 = 0.158 \text{ м}$

Плотность теплового потока на поверхности обмотки

$$q_1 = \frac{172 * a}{a' * k_3} * 10^{-10} * k_2 * n_{\text{эл}} * a * J_1^2 = \frac{172 * 5.3}{5.8 * 0.8} * 10^{-10} * 0.97 * 3 * 0.0053 * 1.72^2 * 10^{12} = 896 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

Масса металла обмотки НН:

$$G_{01} = 8.47 * 10^3 * c * D_{\text{сп1}} * \omega * \Pi = 8,47 * 10^3 * 3 * 0,1405 * 71 * 83,9 * 10^{-3} = 21,27 \text{ кг}$$

масса провода обмотки НН:  $G_{\text{пр1}} = 1,045 * 21,27 = 22,23 \text{ кг}$

### 3.2. Расчёт обмотки ВН

Выбираем схему регулирования напряжения с выводом концов от всех трёх фаз обмотки к одному трёхфазному переключателю.

Контакты переключателя рассчитываются на рабочий ток 6, А.

Наибольшее напряжение между контактами переключателя в одной фазе:

$$\text{рабочее } \frac{10}{\sqrt{3} * 100} * U_2 = \frac{10 * 10000}{\sqrt{3} * 100} = 577 \text{ В}$$

испытательное  $577 * 2 = 1154 \text{ В}$

Число витков в обмотке ВН при номинальном напряжении:

$$\omega_{\text{н2}} = \omega_1 \frac{U_{\phi 2}}{U_{\phi 1}} = 71 * \frac{5774}{231} = 1774,7$$

принимаем 1775 витков.

Напряжение одного витка  $u_{\text{В}} = 3.25 \text{ В}$ .

Число витков на одной ступени регулирования

$$\omega_{\text{Р}} = \frac{\Delta U}{\sqrt{3} * u_{\text{В}}} = \frac{10000 * 0.05}{\sqrt{3} * 3.25} = 88.8 = 89$$

ВИТКОВ.

Напряжение, В	Число витков на ответвлениях.
10500	1775+89=1864
10000	1775
9500	1775-89=1686

Ориентировочная плотность тока:

$$J_2^1 = 2 * J_{cp} - J_1 = 2 * 1.73 * 10^6 - 1.72 * 10^6 = 1.74 * 10^6 \frac{A}{m^2}$$

Ориентировочное сечение витка:

$$П_2^1 = \frac{I_2}{J_2^1} = \frac{5.77}{1.74 * 10^6} = 3.32 * 10^{-6} m^2$$

По мощности трансформатора, току на стержень, напряжению и сечению витка выбираем цилиндрическую, многослойную обмотку из круглого провода. (Табл. 5.8)

По сортаменту алюминиевого провода выбираем провод марки АПБ

диаметром 2,12 мм сечением  $3,53 \text{ мм}^2$  АПБ  $1 \times \frac{2,12}{2,52}$  с толщиной изоляции на две стороны  $2d=0,3 \text{ мм}$

В расчёте принимаем  $2d=0,4 \text{ мм}$ .

Увеличение массы провода за счёт изоляции 9,9% (Табл. 5.1.)

Сечение витка:  $П_2=3,53 \text{ мм}^2$ .

Плотность тока:  $J_2 = \frac{I_{2\phi}}{П_2} = \frac{5,77}{3,53 * 10^{-6}} = 1,62 * 10^6 \frac{A}{m^2}$

Общий суммарный радиальный размер алюминиевых проводов, принимая  $q_2=1200 \text{ Вт/м}^2$  и  $K_3=0,8$

$$b \leq \frac{qK_3}{1,72 * J_2^2 * 10^{-8}} = \frac{1200 * 0,8}{1,72 * 1,62^2 * 10^{12} * 10^{-8}} = 0,0213 \text{ м}$$

Число витков в одном слое  $\omega_{ст} = \frac{l}{d'} - 1 = \frac{0,417}{0,00212} - 1 = 195 \text{ витков}$

Обмотка ВН наматывается в 10 слоёв: девять слоёв по 195 витков и один слой – 109 витков.

Всего 1864 витка. Общий суммарный, радиальный размер металла

$$b=10*2,12=21,2 \text{ мм}$$

$$\text{Напряжение двух слоёв обмотки } U_{\text{Мсс}} = 2 * 195 * 3,25 = 1268, \text{ В}$$

Междуслойная изоляция по табл. 4.7 – кабельная бумага марки К-120 по ГОСТ 23436–83Е, три слоя толщиной 0,12 мм (3\*0,12). Выступ изоляции 16 мм с каждого конца обмотки.

Радиальный размер обмотки:

$$a_2 = [a' * n_{\text{сл2}} + \delta_{\text{мел}}(n_{\text{сл}} - 1)] * 10^{-3} = [2,52 * 10 + 3 * 0,12(10 - 1)] * 10^{-3} = 0,0284 \text{ м}$$

Диаметры обмотки:

$$\text{Внутренний: } D_2' = D_1'' + 2 * a_{12} = 0,158 + 2 * 0,009 = 0,176 \text{ м}$$

$$\text{Внешний: } D_2'' = D_2' + 2 * a_2 = 0,176 + 2 * 0,0284 = 0,233 \text{ м}$$

$$\text{Расстояние между осями стержней } C = D_2'' + a_{22} = 0,233 + 0,008 = 0,241 \text{ м}$$

При испытательном напряжении обмотки ВН  $U_{\text{исп}}=35$  кВ по табл. 4.5 находим:

$$a_{12} = 9 \text{ мм} \quad a_{22} = 8 \text{ мм} \quad \delta_{12} = 2,5 \text{ мм} \quad l_{02} = 20 \text{ мм} \quad l_{y2} = 10 \text{ мм}$$

Обмотка наматывается на бумажно-бакелитовом цилиндре  $\frac{0,169}{0,174} \times 0,440 \text{ м}$

Плотность теплового потока на поверхности обмотки

$$q_2 = \frac{172 * b}{b' * K_3} * 10^{-10} * K_2 * n_{\text{лн}} * b * J_2^2 = \frac{2,12 * 172}{2,52 * 0,8} * 10^{-10} * 0,97 * 10 * 2,12 * 1,62^2 * 10^{12} = 976 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Масса металла обмотки ВН

$$G_{02} = 8470 * c * D_{\text{ср}} * \omega * \Pi = 8470 * 3 * 0,204 * 186 * 3,53 * 10^5 = 342 \text{ кг}$$

$$\text{Масса провода обмотки ВН } G_{\text{пр2}} = 1,099 * G_{02} = 1,099 * 34,2 = 37,6 \text{ кг}$$

$$\text{Масса металла двух обмоток } G_0 = G_{01} + G_{02} = 21,27 + 34,2 = 55,47 \text{ кг}$$

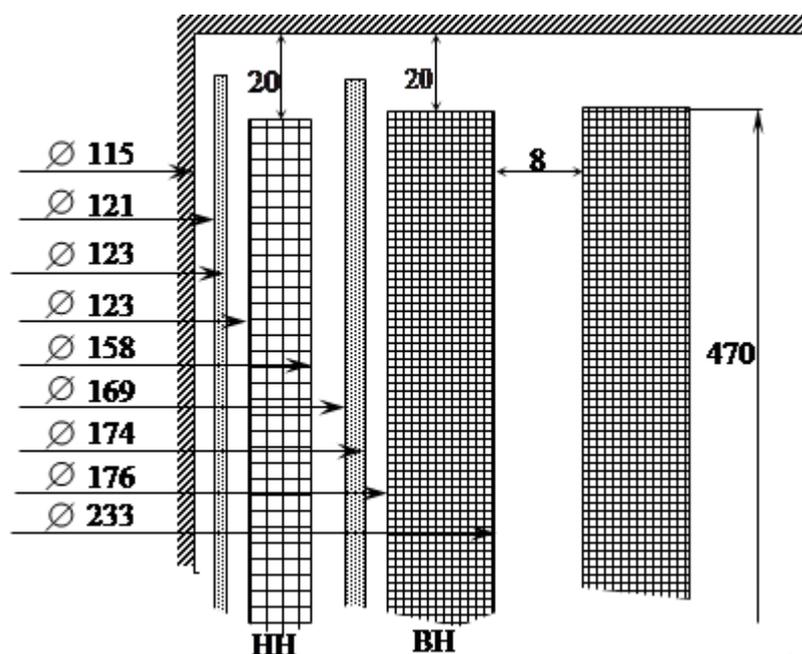


Рис. 3. Расположение обмоток

## 6. Расчёт магнитной системы трансформатора

### 6.1 Определение размеров магнитной системы и массы стали трансформатора

Принимаем конструкцию плоской трёхфазной шихтованной магнитной системы с четырьмя косыми и двумя прямыми стыками на среднем стержне. Прессовка стержня – путём забивания деревянных реек между стержнем и обмоткой НН. Прессовка ярма – прессующими балками и шпильками. В сечении стержня 5 ступеней без прессующей пластины, размеры пакетов по табл. 8.2.

Для  $d=0.115$  м  $K_p=0,903$

В сечении ярма 4 ступени. Ширина крайнего наружного пакета 65 мм.

Размеры пакетов стержня а'б мм Размеры пакетов ярма а'б мм

а	В
105	25
95	9
85	6

65	9
40	5
а	В
105	25
95	9
85	6
65	14

Полное сечение стержня и ярма и объём угла магнитной системы (по табл.

8.6)  $\Pi_{\phi c}=93,9 \text{ см}^2$ ;  $\Pi_{\phi я}=95,4 \text{ см}^2$ ;  $V_y=812,8 \text{ см}^3$ . Активное сечение стержня

$$\Pi_c = \Pi_{\phi c} * K_3 = 93,9 * 0,97 = 91,1 \text{ см}^2 \quad \text{Активное сечение ярма}$$

$$\Pi_я = \Pi_{\phi я} * K_3 = 95,4 * 0,97 = 92,5 \text{ см}^2 \quad \text{Ширина ярма } b_я = 2 * 52 = 104 \text{ мм} \quad \text{Длина}$$

стержня

$$l_c = l + (l'_0 + l''_0) = 0,417 + (0,02 + 0,02) = 0,457 \text{ м}$$

Расстояние между осями соседних стержней

$$C = D_2'' + a_{22} = 0,233 + 0,008 = 0,241 \approx 0,24 \text{ м}$$

Масса стали угла магнитной системы

$$G_y = K_3 * V_y * j_{CT} * 10^{-6} = 0,97 * 812,8 * 7650 * 10^{-6} = 6,03 \text{ кг}$$

Масса стали ярм

$$G_я = G'_я + G''_я = 2 * \Pi_я * 2 * C * j_{CT} + 2 * G_y = 2 * 0,00925 * 2 * 0,24 * 7650 + 2 * 6,03 = 80 \text{ кг}$$

Масса стали стержней  $G'_c = G'_c + G''_c = 95,5 + 3,68 = 99,36 \text{ кг}$

$$G'_c = 3 * l_c * \Pi_c * j_{CT} = 3 * 0,457 * 0,00911 * 7650 = 95,5 \text{ кг}$$

$$G''_c = 3(\Pi_c * a_{1я} * j_{CT} - G_y) = 3(0,00911 * 0,105 * 7650 - 6,03) = 3,86 \text{ кг}$$

Полная масса стали плоской магнитной системы

$$G_{CT} = G_c + G_я = 99,36 + 80 = 179,36 \text{ кг}$$

## 6.2. Расчёт потерь и тока холостого хода

Магнитная система шихтуется из электротехнической, тонколистовой, рулонной, холоднокатаной, текстурованной стали марки 3404 толщиной 0,35 мм.

$$\text{Индукция в стержне } B_c = \frac{u_B}{4,44 * f * \Pi_c} = \frac{3,25}{4,44 * 50 * 0,00911} = 1,607 \text{ Тл}$$

$$\text{Индукция в ярме } B_\alpha = \frac{u_B}{4,44 * f * \Pi_\alpha} = \frac{3,25}{4,44 * 50 * 0,00925} = 1,583 \text{ Тл}$$

По таблице 8.10 находим удельные потери:

При  $B_c=1,607$  Тл;  $p_c=1,35$  Вт/кг;  $p_{3,c}=651$  Вт/м<sup>2</sup>; при  $B_\alpha=1,58$  Тл;  $p_\alpha=1,251$  Вт/кг.

$$\text{При } B_3 = \frac{B_c}{\sqrt{2}} = \frac{1,607}{\sqrt{2}} = 1,14 \text{ Тл} \quad p_3=340 \text{ Вт/м}^2. \Pi_3 = \sqrt{2} * \Pi_c = \sqrt{2} * 91,1 = 128,8 \text{ см}^2$$

Потери холостого хода

$$P_x = \left[ K_{\Pi P} * K_{\Pi 3} \left( p_c * G_c + p_\alpha * G_\alpha - 4 * p_\beta * G_\beta + \frac{p_c + p_\alpha}{2} * K_{\Pi V} * G_\beta \right) + \sum p_3 * n_3 * \Pi_3 \right] * K_{\Pi \alpha} * K_{\Pi \Pi} * K_{\Pi \Pi} =$$

$$= \left[ 1,05 * \left( 1,35 * 99,36 + 1,251 * 67,94 - 4 * 1,251 * 6,03 + \frac{1,35 + 1,251}{2} * 1,018 * 6,03 \right) + \right.$$

$$\left. + 340 * 4 * 0,01288 + 340 * 3 * 0,00911 \right] * 1,03 * 1,01 = 321,5 \text{ Вт}$$

Где:

$$K_{\Pi \Pi} = 1,03 \quad K_{\Pi \Pi} = 1,045 \quad K_{\Pi P} = 1,05 \quad K_{\Pi 3} = 1 \quad K_{\Pi \Pi \Pi} = 1,01 \quad K_{\Pi \alpha} = 1 \quad K_{\Pi V} = 1,018$$

$$\text{Что составляет } \frac{321,5 * 100}{330} = 97,42 \% \text{ от заданного значения.}$$

По таблице 8.17 находим удельные намагничивающие мощности

При  $B_c=1,607$  Тл  $q_c=1,84$  ВА/кг  $q_{3,c}=24000$  ВА/м<sup>2</sup>

При  $B_\alpha=1,58$  Тл  $q_\alpha=1,675$  ВА/кг

При  $B_3=1,14$  Тл  $q_3=3000$  ВА/м<sup>2</sup>.

По таблице 8.13 находим коэффициенты для стали марки 3404 толщиной 0,35 мм при наличии отжига.

$$K_{TP} = 1,18 \quad K_{T\alpha} = 1 \quad K_{T, \Pi \Pi} = 1,5 \quad K_{T\beta} = 1 \quad K_{T\Pi} = 1,045 \quad K_{T\Pi \Pi} = 1,01 \quad K_{TV} = 42,45$$

Полная намагничивающая мощность

$$Q_x = \left[ K_{TP} * K_{T\alpha} \left( q_c * G_c + q_\alpha * G_\alpha - 4 * q_\beta * G_\beta + \frac{q_c + q_\alpha}{2} * K_{TV} * K_{T, \Pi \Pi} * G_\beta \right) + \sum q_3 * n_3 * \Pi_3 \right] * K_{T\alpha} * K_{T\Pi} * K_{T\Pi \Pi} =$$

$$= \left[ 1,18 \left( 1,84 * 99,36 + 1,675 * 67,94 - 4 * 1,675 * 6,03 + \frac{1,84 + 1,675}{2} * 42,45 * 1,5 * 6,03 \right) + 3000 * 4 * 0,0129 + 3000 * 3 * 0,00911 \right] * 1,045 * 1,01 = 1409 \text{ ВА}$$

Ток холостого хода

$$i_0 = \frac{Q_X}{10 * S} = \frac{1409}{10 * 100} = 1.41 \%$$

$$\frac{1.41 * 100}{2.6} = 54.2 \%$$

Или от заданного значения.

Активная составляющая тока холостого хода

$$i_{0a} = \frac{P_X}{10 * S} = \frac{321.5}{10 * 100} = 0.322 \%$$

Реактивная составляющая тока холостого ход

$$i_{0p} = \sqrt{i_0^2 - i_{0a}^2} = \sqrt{1.41^2 - 0.322^2} = 1.37 \%$$

## 7. Тепловой расчёт трансформатора

### 7.1 Тепловой расчёт обмоток

Внутренний перепад температуры:

Обмотка НН:

$$\Theta_{01} = q_1 \frac{\delta}{\lambda_{из}} = 896 \frac{0,25 * 10^{-3}}{0,17} = 1,32^\circ\text{C}$$

Где  $d$ -толщина изоляции провода на одну сторону  $d=0,25*10^{-3}$ м.

$\lambda_{из}=0,17$  Вт/(м<sup>2</sup>\*°C) – теплопроводность кабельной бумаги в масле.

$$\Theta_{02} = q_2 \frac{\delta}{\lambda_{из}} = 976 \frac{0,2 * 10^{-3}}{0,17} = 1,15^\circ\text{C}$$

Обмотка ВН:

$d=0,2*10^{-3}$ м  $\lambda_{из}=0,17$  Вт/(м<sup>2</sup>\*°C).

Перепад температуры на поверхности обмоток:

$$\text{Обмотка НН: } K_1 = 1 \quad K_2 = 1,1 \quad K_3 = 0,8$$

$$\Theta_{снд} = 0,35 * K_1 * K_2 * K_3 * q_1^{0,6} = 0,35 * 1,1 * 0,8 * 896^{0,6} = 18,2^\circ\text{C}$$

$$\text{Обмотка ВН: } K_1 = 1 \quad K_2 = 1 \quad K_3 = 0,8$$

$$\Theta_{снд} = 0,35 * K_1 * K_2 * K_3 * q_2^{0,6} = 0,35 * 0,8 * 976^{0,6} = 17,4^\circ\text{C}$$

Полные перепады температур на обмотках:

Обмотка НН:  $\Theta_{о.м.ср} = \Theta_{01} + \Theta_{0\Delta} = 1,32 + 18,2 = 19,52 \text{ } ^\circ\text{C}$

Обмотка ВН:  $\Theta_{о.м.ср} = \Theta_{02} + \Theta_{0\Delta} = 1,15 + 17,4 = 18,55 \text{ } ^\circ\text{C}$

## 7.2. Тепловой расчёт бака

Выбираем конструкцию бака, со стенками в виде волн. (Табл. 9.4)

Минимальная ширина бака

$$B = D_1 + (S_1 + S_2 + d_1 + S_3 + S_4 + d_2) * 10^{-3} = 0,233 + (28 + 28 + 15 + 25 + 22 + 15) * 10^{-3} = 0,366 \text{ м}$$

Где:  $S_1 = S_2 = 28 \text{ мм}$       $S_3 = 25 \text{ мм}$       $S_4 = 22 \text{ мм}$       $d_1 = d_2 = 15 \text{ мм}$

Принимаем  $B = 0,375 \text{ м}$  (при расположении магнитной системы в центре бака).

Минимальная длина бака

$$A = 2 * C + D_1 + 2 * S_5 * 10^{-3} = 2 * 0,24 + 0,233 + 2 * 33 * 10^{-3} = 0,779 \approx 0,78 \text{ м}$$

Глубина бака  $H = H_{АЧ} + H_{ЯК}$      где  $H_{ЯК} = 160 \text{ мм}$  (Табл. 9.5).

$$H_{АЧ} = l_c + 2 * h_n + n * 10^{-3} = 0,457 + 2 * 0,105 + 30 * 10^{-3} = 0,697 \text{ м}$$

$$H = 0,697 + 0,16 = 0,857 \approx 0,86 \text{ м}$$

Для выбранного типа бака принимаем:

Толщина волны  $c = d = 12 \text{ мм}$ .

Расстояние между соседними волнами  $a = c * 2,5 = 12 * 2,5 = 30 \text{ мм}$

Высота волны  $H_B = H - 0,1 = 0,86 - 0,1 = 0,76 \text{ м}$ .

Толщина стенки  $d = 0,8 \text{ мм}$ .

Ширина волны  $b = 80 \text{ мм}$ .

Поверхность излучения стенки

$$P_{НВ} = [2(A - B) + \pi(B + 2 * b * 10^{-3})] * H_B = [2(0,78 - 0,375) + 3,14(0,375 + 2 * 80 * 10^{-3})] * 0,76 = 1,89 \text{ м}^2$$

Шаг волны стенки

$$t = (a + c + 2 * \delta) * 10^{-3} = (30 + 12 + 2 * 0,8) * 10^{-3} = 0,0436 \text{ м}$$

Развёрнутая длина волны

$$l_B = (2 * b + t - 0,86d) * 10^{-3} = (2 * 80 + 43,6 - 0,86 * 12) * 10^{-3} = 0,193 \text{ м}$$

Число волн  $m = \frac{2(A - B) + \pi B}{t} = \frac{2(0,78 - 0,375) + 3,14 * 0,375}{0,0436} = 46 \text{ волн}$

Поверхность конвекции стенки  $\Pi_{KB} = m * l_B * K_B * H_B$

Где  $K_B$  коэффициент, учитывающий ухудшение конвекции

$$K_B = 1 - \frac{b^2}{190 * a^2} = 1 - \frac{80^2}{190 * 30^2} = 0,96 \quad \Pi_{KB} = 46 * 0,193 * 0,76 * 0,96 = 6,48 \text{ м}^2$$

Поверхность крышки бака

$$\Pi_{KP} = (A - B) * B + \frac{\pi B^2}{4} = (0,78 - 0,375) * 0,375 + \frac{3,14 * 0,375^2}{4} = 0,262 \text{ м}^2$$

Поверхность верхней рамы бака

$$\Pi_P = 0,1 * t * m = 0,1 * 0,043 * 46 = 0,198 \text{ м}^2$$

Полная поверхность излучения бака

$$\Pi_H = \Pi_{HB} + \Pi_P + \Pi_{KP} * 0,5 = 1,89 + 0,198 + 0,262 * 0,5 = 2,22 \text{ м}^2$$

Полная поверхность конвекции бака

$$\Pi_K = \Pi_{KB} + \Pi_P + \Pi_{KP} * 0,5 = 6,48 + 0,198 + 0,262 * 0,5 = 6,81 \text{ м}^2$$

### 7.3. Окончательный расчёт превышения температуры обмоток и масла

Среднее превышение температуры стенки бака над температурой окружающего воздуха (для индивидуального расчёта  $K=1,05$ ).

$$\Theta_{\text{БВ}} = \left[ \frac{K(P_K + P_X)}{2,8\Pi_H + 2,5\Pi_K} \right]^{0,3} = \left[ \frac{1,05(321,5 + 1953)}{2,8 * 2,22 + 2,5 * 6,81} \right]^{0,3} = 40,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

Среднее превышение температуры масла вблизи стенки над температурой стенки бака (для естественного масляного охлаждения,  $K_1=1$ ).

$$\Theta_{\text{МБ}} = K_1 * 0,165 \left[ \frac{K(P_K + P_X)}{\sum \Pi_K} \right]^{0,6} = 0,165 \left[ \frac{1,05(321,5 + 1953)}{7,08} \right]^{0,6} = 5,42 \text{ }^\circ\text{C}$$

$\Sigma \Pi_K$ -поверхность конвекции бака без учёта коэффициента ухудшения конвекции.

$$\sum \Pi_K = m * l_B * H_B + \Pi_P + \Pi_{KP} * 0,5 = 46 * 0,193 * 0,76 + 0,198 + 0,262 * 0,5 = 7,08 \text{ м}^2$$

Превышение температуры масла в верхних слоях над температурой окружающего воздуха

$$\Theta_{\text{МВВ}} = 1,2(\Theta_{\text{БВ}} + \Theta_{\text{МБ}}) = 1,2(40,7 + 5,42) = 55,3 \text{ }^\circ\text{C} < 60^\circ\text{C}$$

Превышение температуры обмоток над температурой окружающего воздуха

$$\text{ВН: } \Theta_{OB} = \Theta_{OM2} + \Theta_{ME} + \Theta_{EB} = 17,4 + 5,42 + 40,7 = 63,52 \text{ } ^\circ\text{C} < 65^\circ\text{C}$$

$$\text{НН: } \Theta_{OB} = \Theta_{OM1} + \Theta_{ME} + \Theta_{EB} = 18,2 + 5,42 + 40,7 = 64,32 \text{ } ^\circ\text{C} < 65^\circ\text{C}$$

## 8. Приближённое определение массы конструктивных материалов и масла трансформатора

Масса активной части трансформатора

$$G_{AЧ} = 1,2(G_{ПР} + G_{СТ}) = 1,2(G_{ПР1} + G_{GH2} + G_{СТ}) = 1,2(22,23 + 37,6 + 179,36) = 287 \text{ кг}$$

Объём бака

$$V_B = \Pi_{KP} * H + m * H_B * b * c = 0,262 * 0,86 + 46 * 0,76 * 0,08 * 0,012 = 0,259 \text{ м}^3$$

$$\text{Объём активной части } V_{AЧ} = \frac{G_{AЧ}}{\gamma_{AЧ}} = \frac{287}{5000} = 0,057 \text{ м}^3$$

$$\text{Объём масла в баке } V_M = V_B - V_{AЧ} = 0,259 - 0,057 = 0,202 \text{ м}^3$$

$$\text{Масса масла } G_M = V_M * \gamma_M = 0,202 * 900 = 181,8 \text{ кг}$$

$$\text{Масса бака } G_B = G_C + G_{KP} + G_\delta = 42,5 + 12 + 8 = 62,5 \text{ кг}$$

$$\begin{aligned} \text{Масса стенки } G_C &= j_{CT} * \delta [H_B * m * l_B + 0,1(2(A - B) + \pi B)] = \\ &= 7650 * 0,0008 [0,76 * 46 * 0,193 + 0,1(2(0,78 - 0,375) + 3,14 * 0,375)] = 42,5 \text{ кг} \end{aligned}$$

$$\text{Масса крышки } G_{KP} = j_{CT} * \delta_{KP} * \Pi_{KP} = 7650 * 0,006 * 0,262 = 12 \text{ кг}$$

$$\text{Масса дна } G_\delta = j_{CT} * \delta_\delta * \Pi_{KP} = 7650 * 0,004 * 0,262 = 8 \text{ кг}$$

Общая масса трансформатора (ориентировочно)

$$G_T = G_{AЧ} + G_M + G_B = 287 + 182 + 62 = 531 \text{ кг}$$

## Безопасность жизнедеятельности

В данном разделе выпускной работы рассматриваются вопросы безопасной жизнедеятельности человека, которых необходимо решать на всех стадиях жизненного цикла.

БЖД - это область знаний, изучающая опасности, угрожающие человеку в среде обитания (природной, производственной, бытовой), и

способы защиты от них. В основу теории безопасности человека положена концепция деятельности, одним из наиболее существенных моментов которой является аксиома о потенциальной опасности в любом из видов деятельности. В таком случае, безопасность можно определить как такое состояние жизнедеятельности, при котором с определенной вероятностью исключается принесение ущерба здоровью человека. Такое состояние достигается с помощью определенного механизма управляющих воздействий на те факторы, от которых зависят условия БЖД.

Проблема сохранения окружающей природной среды, обеспечение экологической безопасности охватывает все сферы жизнедеятельности человека. В основных законодательных документах Узбекистана отмечается необходимость повышения эффективности государственного управления в области охраны природы и использования природных ресурсов, контроля состояния окружающей среды. Проблема охраны природы и улучшения окружающей среды носит ярко выраженный характер и требует объединенных усилий всех звеньев при производстве исследований.

Анализ опасных и вредных факторов, причин и динамики травматизма

Опасным называется производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к травме или другому внезапному резкому ухудшению здоровья. Если же производственный фактор приводит к заболеванию или снижению работоспособности, то его считают вредным. Опасные и вредные производственные факторы подразделяются на четыре группы: физические, химические, биологические и психофизиологические.

К физическим опасным и вредным производственным факторам в энергетике можно отнести: подвижные части производственного оборудования, повышенное значение напряжения в электрической цепи, повышенный уровень ионизирующих излучений, повышенную напряженность электрического, магнитного полей и другие.

К химическим опасным и вредным производственным факторам относятся химические вещества, которые по характеру воздействия на организм человека подразделяются на токсические, раздражающие, сенсibiliзирующие, канцерогенные, мутагенные, влияющие на репродуктивную функцию. По путям проникновения в организм человека они делятся на проникающие через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт, кожные покровы и слизистые оболочки.

К биологическим опасным и вредным производственным факторам относятся патогенные микроорганизмы и продукты их жизнедеятельности, а также макроорганизмы.

К психофизиологическим опасным и вредным производственным факторам относятся физические и нервно-психические перегрузки.

Основными результатами воздействия опасных и вредных производственных факторов на работников являются соответственно травмы и профессиональные заболевания. Частным случаем профессионального заболевания является профессиональное отравление.

Целью анализа травматизма является разработка мероприятий по предупреждению несчастных случаев. Анализ травматизма включает два этапа. Первый из них - тщательное всестороннее расследование обстоятельств и причин несчастного случая на месте его происшествия, второй - систематический анализ и обобщение причин несчастных случаев. Среди методов анализа травматизма можно выделить следующие:

- монографический;
- экономический;
- эргономический;
- психофизиологический;
- статистический.

Результатом анализа травматизма является выделение причин производственного травматизма и профессиональной заболеваемости Среди причин производственного травматизма можно выделить несколько групп:

Технические причины: несовершенство технологических процессов, конструктивные недостатки оборудования, приспособлений, инструментов; недостаточная механизация тяжелых работ; несовершенство ограждений, предохранительных устройств, средств сигнализации и блокировок; прочностные дефекты материалов и т.п.

Организационные причины, зависящие от уровня организации труда на предприятии. К ним, например, относятся: нарушение правил эксплуатации оборудования, транспортных средств, инструмента; недостатки в организации рабочих мест; нарушение правил и норм транспортировки и хранения оборудования; недостатки в обучении рабочих безопасным методам труда и т.п.

Санитарно-гигиенические причины зависят от особенностей организма человека. Профессиональные отравления могут быть обусловлены всеми указанными выше причинами, а профессиональные заболевания чаще всего вызываются санитарно-гигиеническими и психофизиологическими причинами.

В настоящее время около 99% всей полезной физической работы, необходимой для общества осуществляется машинами, управляемыми человеком. Все больше функций человека на производстве сводится к управлению, контролю, программированию. Труд рабочего становится трудом оператора.

Для того чтобы управлять технологическим процессом, наблюдать и контролировать работу машин оператору необходимы данные, которые характеризуют как ход процесса, так и отдельных его звеньев. Человек создал современные машины, выполняющие мощнейшие операции. Однако, в ряде случаев дальнейшее совершенствование машин не только не увеличивает производительность труда, но и оставляет ее на прежнем месте, а иногда и уменьшает.

На современном этапе назрела необходимость в создании специализированных служб предприятия на объектах промышленности. К основным направлениям деятельности этих служб относятся:

- повышение безопасности выпускаемой продукции, проведение экологической экспертизы и снятие с производства экологически опасной продукции;
- разработка и совершенствование технологических процессов в целях экономии природных ресурсов и сокращения негативного воздействия на окружающую среду. Внедрение экологически чистых производств и технологий. Экологическая экспертиза новой техники и технологий;
- снижение до регламентированного уровня или полная ликвидация загрязнения атмосферы, водных объектов, почвы и недр, энергетических загрязнений окружающей среды (шума, вибрации, излучений);
- строительство оборудования и эксплуатация природоохранных объектов (очистных сооружений, утилизационных установок, оборотных систем);
- организация работ по утилизации попутных и побочных продуктов, твердых производственных отходов;
- функциональные системы контроля качества окружающей среды.

Электробезопасность. Статическое электричество.

Помещение лаборатории по опасности поражения электрическим током можно отнести к 1 классу, т.е. это помещение без повышенной опасности (сухое, бес пыльное, с нормальной температурой воздуха, изолированными полами и малым числом заземленных приборов).

На рабочем месте оператора из всего оборудования металлическим является лишь корпус системного блока компьютера, но здесь используются системные блоки, отвечающие стандарту фирмы IBM, в которых кроме рабочей изоляции предусмотрен элемент для заземления и провод с заземляющей жилой для присоединения к источнику питания. Таким образом, оборудование обменного пункта выполнено по классу 1 (ПУЭ).

Электробезопасность помещения обеспечивается в соответствии с ПУЭ.

Опасное и вредное воздействие на людей электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей проявляется в виде электротравм и профессиональных заболеваний.

Степень опасного и вредного воздействия на человека электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей зависит от:

- Рода и величины напряжения и тока
- Частоты электрического тока
- Пути тока через тело человека
- Продолжительности воздействия на организм человека

Электробезопасность в помещении лаборатории обеспечивается техническими способами и средствами защиты, а так же организационными и техническими мероприятиями.

Рассмотрим основные причины поражения человека электрическим током на рабочем месте:

- Прикосновение к металлическим нетоковедущим частям (корпусу, периферии компьютера), которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции.
- Нерегламентированное использование электрических приборов.

Отсутствие инструктажа сотрудников по правилам электробезопасности.

В течении работы на корпусе компьютера накапливается статическое электричество. На расстоянии 5-10 см от экрана напряженность электростатического поля составляет 60-280 кВ/м, то есть в 10 раз превышает норму 20 кВ/м. Для уменьшения напряжённости применять применение увлажнители и нейтрализаторы, антистатическое покрытия пола.

Кроме того, при неисправности каких-либо блоков компьютера корпус может оказаться под током, что может привести к электрическим травмам или электрическим ударам. Для устранения этого я предлагаю обеспечить подсоединение металлических корпусов оборудования к заземляющей жиле.

Электробезопасность обеспечивается в соответствии с ГОСТ 12.1.030. - 81. Опасное и вредное воздействие на людей электрического тока проявляется в виде электротравм и профессиональных заболеваний.

Электробезопасность в лаборатории обеспечивается техническими способами и средствами защиты, а так же организационными и техническими мероприятиями:

1. Прикосновение к металлическим нетоковедущим частям системного блока ПЭВМ, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции.

2. Запрещенное использование электрических приборов, таких как электрические плиты, чайники, обогреватели.

Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, я рекомендую применять защитное заземление.

Заземление корпуса ЭВМ обеспечено подведением заземляющей жилы к питающим розеткам. Сопротивление заземления 4 Ом, согласно (ПУЭ) для электроустановок с напряжением до 1000 В.

Организационные и технические мероприятия по обеспечению электробезопасности

Основным организационным мероприятием является инструктаж и обучение безопасным методам труда, а так же проверка знаний правил безопасности и инструкций в соответствии с занимаемой должностью применительно к выполняемой работе.

Проектирование сети зануления ЭУ .

Зануление – это преднамеренное электросоединение с нулевым защитным проводником (НЗП), который многократно заземлен и соединен с глухозаземленной нейтралью трансформатора, металлических нетоковедущих частей ЭУ или другого ЭО, которые могут оказаться под U.

Зануление ЭУ следует выполнять при напряжении 380 В и выше ~ тока и 440 В и выше = тока во всех ЭУ.

Занулению подлежат:

- корпуса ЭУ, приводы электрических аппаратов;
- вторичные обмотки измерительных трансформаторов;
- каркасы РП и щитов;
- металлические конструкции РУ и части электрических линий;
- металлические корпуса передвижных и переносных ЭУ;
- ЭУ, размещенные на движущихся частях станков, машин и механизмов.

Рассчитать отключающую способность проектируемого зануления ЭУ цеха и определить потребное сопротивление ЭУ нейтрали трансформатора, если известно, что электропитание осуществляется по трехжильному кабелю от сухого трансформатора с вторичным напряжением 400/230 В; для защиты ЭД с короткозамкнутым ротором установлены плавкие предохранители с кратностью тока 4; в кабеле использованы медные жилы.

Исходные данные:

Трансформатор:

- мощность  $S = 100$  кВА;
- соединение обмоток  $Y/Y_0$ ;
- напряжение на высокой стороне 10кВ;
- Номинальная мощность ЭД  $P_d = 125$  кВт;

Длина проводов  $l_{\pi} = 400$  м.

Расчет по заданию:

Сечение фазных проводов по току нагрузки зануляемой ЭУ.

Ток нагрузки  $I_d(A)$ , электродвигателя

$$I_{\partial} = \frac{1000 \cdot P}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \phi \cdot \eta_{\partial}} = \frac{1000 \cdot 125}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,93 \cdot 0,92} = 210,9(A)$$

где  $U_n = 400$  В - номинальное линейное напряжение;

$\cos \phi = 0,93$  - коэффициент мощности эл. двигателя;

$\eta_{\partial} = 0,92$  - КПД эл. двигателя.

Расчетный ток плавкой вставки

$$I_{нв} \geq \frac{I_n}{2,5} = \frac{5 \cdot I_{\partial}}{2,5} = 2 \cdot 210,9 = 421,8(A)$$

где  $I_n$  - пусковой ток

По величине  $I_{нв}$  - принимаем проектный ток ПВ и выбираем плавкий предохранитель ПН-2-600 с номинальным током ПВ 500А.

Сечение фазных проводов через экономическую плотность тока  $j_{фп}$

$$S_{фн} = \frac{I_{\partial}}{j_{фн}} = \frac{210,9}{2,5} = 84,36(мм)^2$$

По таблице 1.3.5 книги [11] выбираем сечение фазных проводов  $S_{фп} = 95$  мм<sup>2</sup>, а допустимый ток  $I = 175$  А.

Требуемый по ПУЭ [11] ток однофазного кз:

$$I_{кз}^m = K \cdot I_n = 4 \cdot 500 = 2000(A)$$

Сопротивление петли "фаза-нуль":

$$Z_n = \sqrt{(R_{\phi} + R_{нзн})^2 + (X_{\phi} + X_{нзн} + X_n)^2}$$

где  $R_{\phi} = \rho \cdot l_n / S_{\phi} = 0,018 \cdot 400 / 95 = 0,076$  Ом - активное сопротивление фазного проводника;

$R_{нзн}$  - активное сопротивление нулевого защитного проводника;

$X_{\phi}$  - внутреннее сопротивление фазного проводника;

$X_{нзн}$  - внутреннее индуктивное сопротивление Н.З.П.;

$X_n$  - внешнее индуктивное сопротивление.

В качестве Н.З.П. выберем жилу кабеля сечением:

$S_{изп} \geq 0,5 \cdot S_{фп} \geq 0,5 \cdot 95 = 47,5$  мм<sup>2</sup>, (по таблице 1.3.5 книги [11] принимаем  $S_{изп} = 50$  мм<sup>2</sup>) тогда:

$R_{нзп} = 0,018 \cdot 400 / 50 = 0,144$  Ом, а величинами  $X_{нзп}$ ,  $X_{п}$  и  $X_{ф}$  - пренебрегаем из-за их малых величин:

$$Z_n = \sqrt{(0,076 + 0,144)^2} = 0,22(\text{Ом})$$

Фактический ток при однофазном коротком замыкании  $I_{кз}^{\phi}$

$$I_{кз}^{\phi} = \frac{U_{\phi}}{Z_m/3 + Z_n} = \frac{230}{0,009 + 0,22} = 1040(\text{А})$$

где,  $Z_m/3$  - полное сопротивление трансформатора = 0,009 Ом по таблице 7.3 [6] для сухих трансформаторов;  $U_{\phi}$  - фазное напряжение.

Полученное значение  $I_{кз}^{\phi} = 1040$  А сравниваем с  $I_{кз}^{\Gamma} = 2000$  А

$I_{кз}^{\phi} < I_{кз}^{\Gamma}$  - условие не выполняется, следовательно, нужно вместо предохранителя нужно применить автомат с кратностью тока 1.25, тогда:

$$I_{кз}^m = K \cdot I_n = 1.25 \cdot 500 = 625(\text{А})$$

$I_{кз}^{\phi} < I_{кз}^{\Gamma}$  - условие выполняется следовательно отключающая способность конструируемого заземления обеспечена.

Потребное сопротивление ЗУ нейтрали трансформатора :

$$R_o = R_{зм} \cdot \frac{U_{пр.доп}}{U_{\phi} - U_{пр.доп}} = 20 \cdot \frac{20}{230 - 20} = 0,19(\text{Ом})$$

где  $R_{зм}$  - сопротивление замыкания фазы на землю ( $R_{зм} \geq 20$  Ом);

$U_{пр.доп} = 20$  В - предельно допустимое напряжение прикосновения,

$R_o = 0,19 < R_{нo} = 4$  Ом - условие выполняется.

Конструктивное решение по результатам расчета.

Таким решением является схема зануления кустовой электросети 400 / 230 В для конкретного электродвигателя с расчетными данными.

ПУЭ при организации проектного зануления рекомендует:

Присоединение нейтрали генератора, трансформатора на стороне до 1кВ к заземлителю или ЗУ при помощи зануляющего проводника сечением не менее  $2,5 \text{ мм}^2$  для алюминиевого изолированного проводника, ЗУ располагается в непосредственной близости от генератора или трансформатора. Его сопротивление в любое время года не должно превышать 4 Ом.

Присоединение зануляемых частей ЭУ или других установок к глухо заземленным нейтральной точке, выводу или средней точке обмоток источника тока при помощи НЗП. Его проводимость должна быть не менее 50% проводимости вывода фаз. Этот проводник должен быть выполнен:

А) при выводе фаз шинами – шиной на изоляторах;

Б) при выводе фаз кабелем – жилой кабеля. В кабелях с алюминиевой оболочкой допускается использовать ее в качестве НЗП вместо четвертой жилы.

Проблема экологической безопасности давно вышло за рамки национальной и региональной, она стало главной проблемой человечества. Природа и человек взаимодействуют друг с другом по определенным законам, нарушения которых приводит к необратимым катастрофам.

Экологический аспект природоохранения состоит в обеспечении на земле благоприятных биологических условий для жизни человека в настоящем и будущем. Решение комплекса задач этой проблемы сводится к улучшению биосвязей животного и растительного мира с окружающей природой. Рост численности людей, сокращение площадей растительного покрова планеты ограниченность резервов, многих необходимых для существования, человеческого общества природных богатств, придают экологическому аспекту природы первостепенную роль.

Охрана окружающей среды и рациональное использование ее ресурсов, в условиях развития научно-технического прогресса и бурного, роста промышленного производства стала одной из актуальнейших проблем современности.

Техника - экономический аспект заключается в рациональном выборе технологии производственных процессов, технических средств, обеспечивающих при наименьших экономических затратах реализацию необходимых природоохранных мероприятий.

В настоящее время в связи с ускорением, развитием научно-технического-прогресса во всем мире все больше вовлекаются природные ресурсы в хозяйственный оборот. К тому же ежегодный прирост населения в мире требует большего производства продуктов питания, топлива, одежды и так далее.

Учитывая, насколько велик для Узбекистана, да и в целом для всего Центрально-азиатского региона, факторы угрозы экологической безопасности, правительство и государство уделяет огромное внимание вопросам защиты окружающей среды рационального использования природных ресурсов. Приняты законодательные акты, направленные на

обеспечение охраны природной среды. Национальные мероприятия по охране природы Республики Узбекистан сочетается собширным и разносторонним сотрудничеством с другими государствами и международными организациями. Заключено значительное число международных договоров и соглашений, регулирующих разные аспекты охраны окружающей среды и рационального природопользования.

Транспортные средства, техническое оборудование промышленных и бытовых предприятий, вентиляционные, газотурбокомпрессорные установки, станции для испытания ГТД и ДВС, различные аэрогазодинамические установки, санитарно-техническое оборудование жилых зданий электрические трансформаторы являются источниками шума. Без принятия соответствующих мер по снижению шума его уровни могут существенно превышать нормативные величины. За последние десятилетия наблюдается непрерывные увеличение шума в крупных городах.

Шумы, воздействуют на человека, классифицируются по спектральным и временным характеристикам.

По характеру спектра шумы подразделяются на широкополосные имеющие непрерывный спектр шириной более одной октавы, и тональные, в спектре которых есть слышимые Дискретные тона. Тональность шума устанавливают по результатам измерений уровней звукового давления в третьоктавных полосах частот, когда превышение уровня в одной полосе над соседними составляет не менее чем в 10 дБ.

По временным характеристикам шум подразделяют на постоянные, уровень звука которых изменяется во времени не более чем на 5 дБ А при измерениях на временной характеристике шумомера «медленно», непостоянные, для которых это изменение превышает 5 дБ А. Непостоянные шумы могут быть:

- колеблющимися во времени, уровень звука которых непрерывно изменяется.

- прерывистый уровень звука которых ступенчато изменяется несколько раз во время наблюдения при этом источник шума работает с перерывами между интервалами, в течении которых уровень остается постоянным и превышающий уровень фонового шума.

- импульсными, состоящими из одного или нескольких звуковых импульсов, каждый длительностью менее одной секунды, при этом уровни звука измерение соответственно на временных характеристиках шумомера «импульс» и «медленно» отличаются не менее чем на 7дБ А. Так шум в жилой застройке, возникающий при испытании турбореактивного двигателя, является широкополосным, поскольку он имеет непрерывный спектр не только в одной октаве но и во всем измеряемом диапазоне частот. Такой широкополосный шум может быть постоянным во времени. Шум осевого вентилятора на территории жилой застройки имеет тональный характер, так как уровень звукового давления в третьооктавной полосе частот со среднегеометрической частотой 125 Гц, более чем на 10 дБ превышает уровни в соседних полосах. Шум транспорта в аудиториях учебного заведения может быть колеблющимся во времени, а шум воздуходелительной установки при периодическом сбрасывании сжатого воздуха - прерывистым. Наконец, шум молота имеет импульсный характер.

При электроснабжении происходит вредное воздействие на окружающую среду, такие как электромагнитное излучение, появление шумов и.т.д.

Человек реагирует на шум в зависимости от субъективных особенностей организма, привычного шумового фона. Раздражающее действие шума зависит прежде всего от его уровня, а также от спектральных и временных характеристик. Считается, что шум с уровнем ниже 60 дБ А вызывает нервное раздражение, поэтому неслучайно, что рядом исследований установлена прямая связь между, возрастающим уровнем шума в городах и увеличением числа нервных заболеваний.

Инфразвуковые источники могут быть как естественными, так и искусственными. К последним относят механизмы с большой поверхностью, совершающие вращательное или возвратно-поступательное движение это реактивные двигатели, ДВС большой мощности, турбины, мощные аэродинамические установки, вентиляторы, компрессоры и другие установки, создающие большие турбулентные массы потоков газов, транспорт.

Инфразвук воспринимается человеком за счет слуховой и активной чувствительности. Так при частотах 2-5, Гц и уровни звукового давления 100-125 дБ наблюдается осязаемое движения барабанных перепонки из-за изменения звукового давления в среднем ухе, затрудненное глотание, головная боль. Повышения уровня до 125-137 дБ может вызывать вибрацию грудной клетки, чувство «падения», летаргию. Инфразвук с частотой 15- 20 Гц вызывает чувство страха. Известно влияние инфразвука на вестибулярный аппарат и снижение слуховой чувствительности. Все названные аномалии приводят к нарушению нормальной жизнедеятельности человека, и проявляется даже на достаточно удаленных от источников инфразвука расстояниях. Инфразвук может оказывать косвенное воздействие, что в свою очередь обуславливает высокочастотные шумы с уровнем более 40 дБ А.

Технологическое оборудование ударного действия, мощные энергетические установки, рельсовый транспорт, предприятия коммунального хозяйства, а также железнодорожный транспорт относятся к источникам вибрации. Во всех случаях вибрации распространяются по грунту и достигают фундаментов общественных и жилых зданий, часто вызывая звуковые колебания. Передача вибраций через фундаменты и грунт может способствовать их неравномерной осадке, приводящей к разрушению расположенных на них инженерных и строительных конструкций. Особенно это опасно для грунтов, насыщенных влагой. Источником вибрации может быть инженерное оборудование зданий, системы отопления, канализаций, мусоропровод.

Во всех случаях вибрации вызывают, раздражающие действие либо помехи для трудового процесса в общественных зданиях. Протяженность зоны воздействия вибраций в окружающей среде определяется величиной их затухания в грунте, которое, как правило, составляет 1 дБ /м. Чаще всего на расстоянии 50-60м от магистралей рельсового транспорта вибрации практически затухают. Применительно к оборудованию кузнечно-прессовых цехов зона действия вибраций значительно больше, а для молотов с облегченными фундаментами она может составлять до 150-200 м.

Источники электромагнитных полей (ЭМП). Повсеместно имеется естественное магнитное поле Земли, напряженность которого увеличивается с широтой. Однако известны и глобальные региональные аномалии поля в местах залежей железной руды.

Вследствие широкого применения источников электромагнитной энергии в различных отраслях народного хозяйства науке и технике резко возрос общий электромагнитный фон земли, особенно это заметно в крупных, городах высокоразвитой промышленностью и мощными радиотехническими объектами. Основные источники ЭМП радиочастот антропогенного происхождения радиотехнические объекты (РТО), телевизионные и радиолокационные станций (РЛС), термические цеха и участки (в зонах, примыкающих к машиностроительным предприятиям). Воздействие на окружающую среду ЭМП промышленной частоты чаще всего связано высоковольтными линиями (ВЛ) электропередач, источниками магнитных полей являются промышленные предприятия.

Зоны с повышенными уровнями ЭПМ, источниками которых могут быть РТО и РЛС, имеют размеры до 100-150 м. При этом даже внутри зданий, расположенных в этих зонах, плотность потока, как правило выше допустимых значений. ЭПМ промышленной частоты в основном поглощаются почвой, поэтому на небольшом расстоянии от линий электропередач (50—100м) напряженность этого поля падает с десятков тысяч до нескольких десятков вольт на метр. Наблюдения и результаты

экспериментов показали, что электромагнитные излучения космического, земного и околоземного происхождения играют определенную роль в организации жизненных процессов на Земле. Так, давно известно высокая степень влияния солнечной активности на все виды биологической деятельности живых организмов, на рост эпидемий различных инфекционных заболеваний. С изменением интенсивности геомагнитного поля связывают годовой прирост деревьев, урожай зерновых культур, обострения инфаркта миокарда и психических заболеваний среди населения, а также число дорожных катастроф.

Количественные и качественные характеристики ЭМП, существенно отличающиеся от значений, которым человек и другие объекты биосферы приспособились в течение эволюции, могут вызывать функциональные нарушения, иногда перерастающие в заболевания. В связи с этим вполне справедлива постановка вопроса об оптимизации электромагнитных условий, о создании так называемого электромагнитного комфорта.

*Шум* — это беспорядочное сочетание звуков различной частоты и интенсивности (силы). Шум возникает при механических колебаниях в твердых, жидких и газообразных средах.

*Звук* представляет собой колебательное движение частиц упругой среды, например воздуха, распространяющееся волнообразно.

Источниками производственного шума на электростанциях могут быть турбо- и гидроагрегаты, электродвигатели собственных нужд, дымососы и вентиляционные установки, дробилки и шаровые мельницы систем пылеприготовления, трансформаторы, станки и ручные пневмо- и электромашины, транспортные средства и др.

Механические колебания с частотами 20—20 000 Гц воспринимаются слуховым аппаратом в виде звука. Колебания с частотой ниже 20 и выше 20 000 Гц не вызывают слуховых ощущений, но оказывают вредное биологическое воздействие на организм человека.

Создаваемые технологическим оборудованием шумы могут возникать при различных процессах: механических (соударения, вибрации, трение), аэродинамических (нестационарные процессы в газах при истечении сжатого воздуха или газа, при горении жидкого или распыленного топлива), гидродинамических и электромагнитных.

Одним из методов уменьшения шума на объектах энергетического производства является снижение или ослабление шума в его источниках – в электрических машинах и трансформаторах, компрессорах и вентиляторах, в машинах топливного пылеприготовления (дробилки, мельнице).

Согласно ГОСТ 12.2.003-74 конструкция производственного оборудования должно обеспечить исключения или снижения регламентированных уровней шума, ультразвука и вибрации.

ГОСТ 12.2.003-75 так же требует предотвращения или уменьшения до допустимого уровня воздействия на человека шума ультразвука и вибраций электротехнических изделий.

ГОСТ 12.2.003-76 устанавливает нормы допустимого шума для силовых трансформаторов разработка малошумного производственного оборудования часто представляет собой очень сложную техническую проблему. На практике по возможности следует применять малошумное оборудование.

В машинах частой причиной недопустимого шума является износ подшипников, неточная сборка деталей при ремонтах и т.п.. По этому в процессе эксплуатации всех видов машин необходимо выполнять соответствующие Правила технической эксплуатации. Не нормальный повышенный шум, создаваемый трансформаторами и электрическими машинами, часто бывает по причине неплотного стягивания стального сердечника, а в электродвигателях при их перегрузке или работе при обрыве одного фазного провода питающей цепи.

Своевременное устранение этих причин позволяет снизить уровень шума.

Строительные нормы и правила (СНиП-11-12-77) предусматривают защиту от шума строительными-акустическими методами. При этом для снижения уровня шума предусматриваются следующие меры:

а) звукоизоляция ограждающих конструкций; уплотнение по периметру притворов окон, ворот, дверей; звукоизоляция мест пересечения ограждающих конструкций инженерными коммуникациями; устройства звукоизолированных кабин наблюдения и дистанционного управления, укрытия, кожухи.

б) звукопоглощающие конструкции и экраны;

в) глушители шума, звукопоглощающие облицовки газоздушных трактов, вентиляционных систем с механическим побуждением и систем кондиционирования воздуха, а также газодинамических установок;

г) правильная планировка и застройка территорий городов в соответствии с требованиями СНиП по планировке и застройке городов, а также экраны и зеленые насаждения.

В качестве индивидуальных средств защиты от шума используют специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, противозумные каски, защитное действие которых основано на изоляции и поглощении звука.

Одним из эффективных средств защиты от вибрации рабочих мест, оборудования и строительных конструкций является виброизоляция, представляющая собой упругие элементы, размещенные между вибрирующей машиной и основанием. Амортизаторы вибраций изготавливают обычно из стальных пружин или резиновых прокладок. Пружинные амортизаторы применяются для виброизоляции насосов, дробилок, электродвигателей, двигателей внутреннего сгорания. Виброизолирующая способность резиновых амортизаторов меньше, чем пружинных, но они характеризуются большим внутренним трением, что способствует уменьшению времени затухания свободных колебаний системы.

Для уменьшения вибрации кожухов, ограждений и других деталей выполненных из стальных листов, применяют в вибропоглощающие – нанесение на вибрирующую поверхность резины, пластиков, вибропоглощающих мастик, которые рассеивают энергию колебаний. Применением вибропоглощающих покрытий достигается также значительное снижение уровня производительности шума.

В качестве индивидуальной защиты от вибраций, передаваемых человеком через ноги, рекомендуется носить обувь на войлочной или толстой резиновой подошве. Для защиты рук рекомендуется виброгасящие перчатки.

Электромагнитное поле, возникающее в пространстве вокруг токоведущих частей действующих электроустановок. В электроустановках напряжением менее 400 кВ также возникают электромагнитные поля, но менее интенсивные и, как показывает длительный опыт эксплуатации таких установок, не оказывающие отрицательного влияния на биологические объекты.

Интенсивное электромагнитное поле промышленной частоты вызывает у работающих нарушение функционального состояния центральной нервной системы, сердечной деятельности и системы кровообращения. При этом наблюдаются повышенная утомляемость, снижение точности рабочих движений, изменение кровяного давления и пульса, возникновение болей в сердце, сопровождающихся сердцебиением и аритмией, и т. п.

Эффект воздействия электромагнитного поля на биологический объект принято оценивать количеством электромагнитной, энергии, поглощаемой этим объектом при нахождении его в поле. Электромагнитное поле можно рассматривать как состоящим из двух полей: электрического и магнитного. Можно также считать, что в электроустановках электрическое поле возникает при наличии напряжения на токоведущих частях, а магнитное — при прохождении тока по этим частям.

При малых частотах, в том числе при 50 Гц, электрическое и магнитное поля практически не связаны между собой, поэтому их можно

рассматривать отдельно друг от друга и также отдельно рассматривать влияние, оказываемое ими на биологический объект. Исходя из этого определена поглощаемая телом человека энергия электрического и магнитного полей. При этом в любой точке электромагнитного поля, возникающего в электроустановках промышленной частоты, поглощенная телом человека энергия магнитного поля примерно в 50 раз меньше поглощенной им энергии электрического поля. Вместе с тем измерениями в реальных условиях установлено, что напряженность магнитного поля в рабочих зонах ОРУ и ВЛ напряжением до 750 кВ включительно не превышает 20-25 А/м, в то время как вредное действие магнитного поля на биологический объект проявляется при напряженности 150-200 А/м.

Это позволило сделать вывод, что отрицательное действие на организм человека электромагнитного поля в электроустановках промышленной частоты обусловлено электрическим полем; магнитное же поле оказывает незначительное биологическое действие и в практических условиях им можно пренебречь.

Электрическое поле электроустановок частотой 50 Гц можно рассматривать в каждый данный момент как электростатическое поле, т. е. применять к нему законы электростатики. Это поле создается между двумя электродами (телами), несущими заряды разных знаков, на которых начинаются и оканчиваются силовые линии.

Компенсация емкостной составляющей тока замыкания на землю эффективна в тех случаях, когда емкостная проводимость фаз относительно земли больше активной и снижение полного тока замыкания на землю за счет компенсации емкостной составляющей значительно.

Эта мера защиты применяется в дополнение к другим защитным мерам - защитному отключению или заземлению, так как самостоятельно безопасности в большинстве случаев не обеспечивает.

В целях улучшения экологической обстановки в Республики Узбекистан принимаются меры по уменьшению отрицательного экологического влияния

энергетики на экологию путем строительства современных и высокотехнологических установок.

**Экономическая часть**

Объёма инвестиции на закупкамалоценных и быстро изнашивающихся предметов и инвентаря

№	Наименования	Кол.	Стоимость Сум	НДС %	Стоимость с учётом НДС
1	Элек.тех. сталь	270кг	2713500	542700	3256200
2	Мед	27кг	271350	54270	325620
3	Изоляционный мат.	7кг	164150	32830	196980
4	Тр. масла	80л	364480	72896	437376
Итого					4216176

Объёма инвестиции на покупка контрольно-измерительных приборов

№	Наименования	Кол.	Стоимость Сум	НДС %	Стоимость с учётом НДС
1	Амперметр	1	50000	10000	60000
2	Вольтметр	1	50000	10000	60000
3	Тестер	1	100000	20000	120000
Итого					240000

Объёма инвестиции основных фондов

№	Наименование	Количество	Стоимость основных фондов
1	Комната	1	6 млн
2	Трех фазного двух обмоточного трансформатора мощность 400кВт, напряжение 6/0.4 кв	1	7370000
3	Инструменты		240000
Итого			13610000

Амортизационные отчисления составляет 20% ОФ

$$A_{\text{отч}} = 0,2 * \frac{АФ}{12} = 0,2 * \frac{13610000}{12} = 226833$$

Затраты на текущий ремонт и техническая служба составляет 12% ОФ

$$P_T = 0,12 * \frac{A\Phi}{12} = 136100$$

№	Наименование Работы	Долж-ность	Продолж. (в днях)	Дневная Оклад	Стоимость выполнение работы
1	Согласование и утверждение календарного плана выполнения работы	Снс	1	25000	25000
2	Технико-экономическое обоснование	Снс	1	25000	25000
3	Подбор и чтение научно-технической литературы	Снс	1	25000	25000
4	Разработка работы	Снс	2	25000	50000
5	Расчеты схемы	Мнс	1	39000	39000
6	Изготовление	Мнс	3	25000	75000
7	Вычерчивание чертежей	Снс	1	25000	25000
8	Оформление работы	Мнс	2	25000	50000
9	Сдача работы	Снс	1	25000	25000
Итого			16		339000

Основной заработной платы составляет совокупность заработной платы общего разработчиков и 40% премия

$$Z_{oc} = COT + 0.4 * COT = 339000 + 0.4 * 339000 = 474600$$

Дополнительной заработной платы составляет 10% от основной заработной платы

$$Z_d = 0.1 * Z_{oc} = 0.1 * 474600 = 47460$$

Общий фонд заработной платы составляет совокупность дополнительной и общего фонда

$$\Phi OT = Z_{oc} + Z_d = 522060$$

Социальный затраты составляет 25% от  $\Phi OT$   
 $O_{фсс} = 0.25 * \Phi OT = 0.25 * 522060 = 130515$

Транспортный затраты составляет 20% от Основной заработной платы

$$P_{\text{тр}}=0.2*3_{\text{ос}}=0.2*339000=94920$$

Тепловых расходы

протяженность 3м

ширина 3м

$$V=\text{протяженность}*\text{ширина}=9\text{м}^2$$

$$V=24*1200=10800$$

Плата за электроэнергию

Плата за электроэнергию

$$N-\text{установляемая мощность} \quad N=20+3=23\text{кВт}$$

$$T=4\text{час}*24=96\text{час} \quad S=191 \text{ сум}$$

$$W=191*96*23=421728\text{so'm}$$

Объем инвестиция

$$K=\text{МПЗ}+\text{ФОТ}+\text{Аоф}+\sum P=4216176+522060+226833+421728+10800+94920+130515=5623032$$

#### Затрат выполнение работы

№	Наименование показателей	Стоимость
1	Стоимость выполнение работы	3031986
2	Затраты на производство	2332297
3	Производственная себестоимость	2280091
4	Расходы периода	52206
5	Материальные затраты	166704
6	Сырьё	4216176
7	Энергия	421728
8	ФОТ	522060
9	Социальные страхования	130515
10	Амортизация ОФ	226833
11	Другие затраты	38211
12	Основная зарплата	339000

Технико-экономические показатели работы

№	Наименование показателей	Единица измерения	Величина (сум)
1	Стоимость выполнения работы	Сум	3031986
2	Затраты на производство	Сум	2332297
3	Инвестиции	Сум	5623032
4	Ожидаемая экономия	Сум	1574448
5	Срок окупаемости	Месяц	3 месяц 17 дней
6	Рентабельность	%	28%

Ожидаемая экономия внедрения

$$\Delta = (C1 - C2)Q = (3031986 - 2332297) * 1 = 1574448 \quad C1 = 1.3 * C2$$

где

C1 и C2 - себестоимость двигателя до и после внедрения

Q - объем производства

Рентабельность двигателя

$$R = \Delta * 100 / K = 1574448 * 100 / 5623032 = 28\%$$

Срок окупаемости инвестиции

$$T_{ок} = K / \Delta = 5623032 / 1574448 = 3.57 \text{ месяц} = 3 \text{ месяц } 17 \text{ дней}$$

**Заключение**

В выпускной работе произведен расчет трансформатора мощностью 100 кВА, напряжение 10/0,4 кВ.

Потери холостого хода трансформатора составляет  $\frac{321,5 * 100}{330} = 97,42 \%$  от заданного значения.

Ток холостого хода составляет  $\frac{1,41 * 100}{2,6} = 54,2 \%$  от заданного значения.

Потери к.з. составляет  $\frac{1953 * 100}{1970} = 99\%$  от заданного.

Напряжение к.з. составляет  $\frac{4,34 * 100}{4,5} = 96,4 \%$  от заданного значения.

Таким образом, эти значения потери, тока хх и напряжение кз. лежат в пределах указанных в ГОСТах.

1. Мирзиёев Ш.М. Буюккелажагимизнимардваолижанобхалқимизбиланбиргақурамиз. – Т.: “Ўзбекистон” НМИУ, 2017. – 488 б.
2. Ўзбекистон Республикаси нияна дариво жлан тириш бўйича Ҳаракатлар стратегия ситўғрисида. – Т.: 2017 йил 7 февраль, ПФ-4947-сонли Фармони.
3. Bhattacharya. Electrical machines 3E book. 2008, N/A p.
4. Fitzgerald. Electric machinery, 6/E book. 2002, N/A p.
5. Berdiev U.T., Pirmatov N.B. Elektromexanika. Texnika oliy oquv yurtlarining “Elektr texnikasi, elektr mexanikasi va elektr texnologiyalari” va “Elektr energetika” yo‘nalishi talabalari uchun darslik.– Т.: Shams-Asa. 2014. – 386 б.
6. П.М.Тихомиров. Расчет трансформаторов.-М.: Ленанд, 2014.-528 с.
7. Страродубцов Ю.Н. Теория и расчет трансформаторов малой мощности. –М.: ИП РадиоСофт, -2015. – 320 с.
8. П.М.Тихомиров. Расчет трансформаторов.-М.: Альянс, 2013.-528 с.
9. Иванов - Смоленский А.В. Электрические машины. М: 2004. Ч 1. - 928 с.
10. Salimov J.S., Pirmatov N.B. Elektrmashinalari. Darslik.-Т.: O‘zbekiston faylasuflarimilliy jamiyatining nashriyoti, 2011. – 408 б.
11. Иброҳимов У. Электр машиналари. Ўқувқўлланма. – Т.: Ўқитувчи, 2001.
12. <http://booket.ru/book-57542.html>  
(“Электромеханические преобразователи энергии”.  
Епифанов А.Г. Изд-во “Лань”. 2004г.)
13. <http://www.unilib.neva.ru/dl/059/Head.html>  
(Электронная книга по электромеханике. Леонтьев А.Г.)

## ОТЗЫВ

на выпускную работу студента группы 133-13 ЭЭЭ

Авалбаков Ўлпир Хусанович на тему

«Расчет потери мощности двигателя постоянного тока»

Выпускная работа состоит из пояснительной записки и слайдов. Пояснительная записка состоит из четырех разделов: основная часть, безопасность жизнедеятельности, экология и экономическая часть. В ней содержатся графики, схемы и рисунки.

В данной выпускной квалификационной работе основное внимание уделено вопросам, касающимся расчета потери мощности двигателя постоянного тока.

Выпускная работа содержит все необходимые материалы.

В целом выпускная работа выполнена грамотно, с соблюдением правил выполнения технической документации и ГОСТ.

Представленная выпускная работа выполнена полностью, в соответствии с заданием и рекомендуется к защите перед Государственной Аттестационной комиссией.

Выпускник Азимов Умиджон Дилшод ўгли достоин присвоения ему степени бакалавра по направлению - «Электротехника, электромеханика и электротехнологии».

Руководитель



Абдурахимов М.М.

## РЕЦЕНЗИЯ

на выпускную работу по теме «Расчет потери мощности двигателя постоянного тока» выполненную студентом группы 133-13 ЭЭЭ кафедры «Электрические машины» Авалбекова Ўткир Хусановича

На рецензию представлены: пояснительная записка на 56 страницах и презентация состоящая из 14 слайдов.

*Актуальность темы.* Одним из крупнейших потребителей электроэнергии в стране сетевые электродвигатели, большая часть которых используется в промышленности, в частности в карьерах.

В работе получены следующие основные научные результаты:

- рассчитана рабочая характеристика двигателя постоянного тока
- показано, что предложенный способ регулирования тока возбуждения обеспечивает оптимальный режим работы двигателя постоянного тока в статическом режиме;
- показано, что в своевременная защита обеспечивает нормальный режим работы двигателя постоянного тока

*Практическая значимость результатов работы.* Результаты исследований могут быть использованы в энергетической промышленности.

*В работе имеются следующие замечания:*

1. Некоторые схемы выполнены с отступлением от ГОСТа.
2. В работе имеются стилистические ошибки.

Несмотря на указанное замечание, выпускная работа выполнена полностью, в соответствии с заданием и рекомендуется к защите. Выпускник Авалбеков Ўткир Хусанович достоин присвоения ему степени бакалавра по направлению - «Электротехника, электромеханика и электротехнологии».

«Тошкентэлектроника» бирокчаси директори



У.Р. Маткаримов