Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого»
Институт политехнический

Кафедра промышленной энергетики

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИПТ
_____ А.Н. Чадин
"01" _____03_____2017 г.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ ПРЕДПРИЯТИЙ

Учебный модуль по направлению подготовки

13.03.01 – Теплоэнергетика и теплотехника

Рабочая программа

СОГЛАСОВАНО
Начальник учебного отдела
_____ О.Б. Широколобова
"01" _____03_____2017 г.

Разработал
профессор
_____ И.В. Швецов
01 _____03_____2017 г.

Принято на заседании кафедры
Протокол № 7 от 01. 03. 2017 г.
Заведующий кафедрой
_____ И.В. Швецов
01 _____03_____2017 г.

1. Цели и задачи учебного модуля

Цель учебного модуля - изучение структуры, теоретических и технических основ и принципов функционирования систем производства, транспорта и потребления технологических энергоносителей: сжатого воздуха, холода, технического водоснабжения и продуктов разделения воздуха (кислорода, азота, аргона и др.) в соответствии с требованиями надежной и экономичной эксплуатации при высоких термодинамических и экономических показателях.

Задача изучения модуля – изучение теоретических основ о запасах, динамике развития и потребления нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, физических основах их преобразования, методах расчета энергоустановок, возможностях и перспективах их использования в топливно-энергетическом балансе страны.

2. Место учебного модуля в структуре ООП направления подготовки

Изложение материала является базой и основных понятий направления “Теплоэнергетика и теплотехника”. Модуль «Технологические энергоносители предприятий» относится к вариативной части Б3В6. Знания, полученные в процессе изучения учебного модуля, используются студентами при изучении специальных курсов при подготовке специалистов-теплоэнергетиков, при изучении безопасности производственных процессов, а также при выполнении выпускной квалификационной работы. Модуль базируется на модулях «Нагнетатели и тепловые двигатели», «Основы трансформации теплоты». Знания, полученные по освоению дисциплины, необходимы при выполнении бакалаврской выпускной квалификационной работы, а также программы магистерской подготовки по направлению «Теплоэнергетика и теплотехника».

3. Требования к результатам освоения учебного модуля

Процесс изучения учебного модуля направлен на формирование следующих компетенций:

- готовностью к участию в организации метрологического обеспечения технологических процессов при использовании типовых методов контроля режимов работы технологического оборудования (ПК-8)
- способностью обеспечивать соблюдение экологической безопасности на производстве и планировать экозащитные мероприятия и мероприятия по энерго- и ресурсосбережению на производстве (ПК-9)
- готовностью к участию в работах по освоению и доводке технологических процессов (ПК-10).

Процесс изучения УМ направлен на формирование компетенций:
В результате освоения УМ студент должен знать, уметь и владеть:
Таблица 1

Код компетенции	Уровень освоения компетенции	Знать	Уметь	Владеть
ПК-8	базовый	основные нормативные и правовые технические документы профессиональной деятельности теплоэнергетика	использовать нормативные правовые документы в своей профессиональной деятельности	навыками использования нормативной и правовой документации в профессиональной деятельности теплоэнергетика в соответствии с имеющимися стандартами и техническими условиями
ПК-9		терминологию, правовые, нормативно-технические основы безопасности жизнедеятельности, основные средства и методы безопасности в теплоэнергетике, выполнять основные положения нормативной документации по защите персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий	применять основные методы защиты производственного персонала и населения от последствий возможных аварий, катастроф, стихийных бедствий	основными методами защиты производственного персонала и населения от последствий возможных аварий, катастроф, стихийных бедствий
ПК-10		методы сбора и анализа исходных данных для проектирования элементов теплоэнергетических процессов и оборудования	проводить сбор и анализ исходных данных для проектирования элементов оборудования и объектов деятельности в целом с использованием нормативной документации и современных методов поиска и обработки информации	навыками проектирования элементов и объектов деятельности в целом с использованием нормативной документации и современных методов поиска и обработки информации

4 Структура и содержание учебного модуля

4.1 Трудоемкость учебного модуля

В структуре УМ выделены учебные элементы модуля (УЭМ) в качестве самостоятельных разделов.

Таблица 2

Учебная работа (УР)	Всего	Распределение по семестрам	Коды формируемых компетенций
		7	
Трудоемкость модуля в зачетных единицах (ЗЕТ)	6	6	
Распределение трудоемкости по видам УР в академических часах (АЧ): УЭМ: - лекции - практические занятия (семинары) - аудиторная СРС - внеаудиторная СРС	180 36 54 18	180 36 54 18	ПК-8, ПК-9, ПК-10
Аттестация: - экзамен	36	36	

*) экзамен принимается в часы аудиторной СРС.

4.2 Содержание и структура разделов учебного модуля

Часть I - Технологические энергоносители

1. Введение. Характеристика и показатели систем производства и распределения энергоносителей. Значение дисциплины в формировании инженера-теплоэнергетика. Современные масштабы и перспективы производства и потребления энергоносителей промышленными предприятиями. Системы обеспечения энергоносителями потребителей промпредприятия, их классификация.

2. Производственные ситемы. Элементы системы производство-коммуникация-потребитель и их взаимосвязь, использование в ее составе вторичных энегетических ресурсов предприятия. Режимы производства и потребления энергоносителей. Методы термодинамической и термоэкономической оценки систем.

3. Системы производства и распределения сжатого воздуха. Основные потребители сжатого воздуха на промпредприятиях. Требования к качеству (содержание влаги, пыли и других примесей) технологического и силового воздуха.

4. Графики расхода сжатого воздуха потребителями. Определение нагрузок на компрессорную станцию. Рабочее давление компрессоров при централизованной и децентрализованной системе производства сжатого воздуха, технико-экономическое сопоставление этих систем.

5**. Воздуходувные и компрессорные станции промпредприятий.** Выбор типа и количества компрессоров, устанавливаемых на компрессорной станции. Способы регулирования производительности компрессоров. Вспомогательное оборудование, воздухопроводы, трубопроводы и арматура компрессорных станций. Принципиальные схемы станций и их расчет. Типовые компоновочные решения компрессорных станций различных производств, их энергетические и экономические показатели.

6. Системы и установки обеспечения предприятий продуктами разделения воздуха. Использование в промышленности кислорода, азота и других продуктов разделения воздуха. Характеристики промышленных потребителей по расходам, концентрации, влажности и другим параметрам используемых кислорода и азота. Определение потребности предприятия, его цехов и установок в кислороде и азоте.

7. Низкотемпературные методы промышленного получения кислорода и азота. Конденсационно-испарительный и абсорбционно-десорбционный. Ожижители воздуха, их структура, основные термодинамические процессы и квазициклы.

8. Низкотемпературная ректификация воздуха. Области применения однократной и двукратной ректификации, основные балансные уравнения.

9. Современные воздухоразделительные установки и станции, их классификация. Схемы, области применения, энергетические и экономические показатели, используемые материалы, методы расчета, выбор оборудования, типовые компоновки. Требования охраны труда, противопожарной техники и гражданской обороны при проектировании и эксплуатации воздухоразделительных установок.

Часть II – Системы газоснабжения

10. Исторический очерк развития газоснабжения. Газовая промышленность России. Социальное значение систем газоснабжения. Состав газообразного топлива. Классификация горючих газов.

11. Горючие газы, добыча и транспорт природного газа. Осушка газа и очистка от сероводорода. Одоризация газа и одоризационные установки. Транспортирование газа на большие расстояния. Схема магистрального газопровода и его сооружений. Подземные хранилища.

12. Городские системы газоснабжения и их основные характеристики. Схемы городских систем газоснабжения. Классификация газопроводов. Присоединения потребителей к газовым сетям. Системы с кольцевыми и тупиковыми газовыми сетями. Устройство и конструкции наружных газопроводов. Основные правила прокладки газопроводов различных давлений Подземные и надземные газопроводы. Переходы газопроводами естественных и искусственных препятствий. Защита газопроводов от коррозии. Природа электрохимической коррозии, электрическая коррозия блуждающими токами. Изоляция газопроводов. Электрические методы защиты газопроводов от коррозии.

13. Потребление газа. Основные категории потребителей и методы расчета потребляемого ими газа. Соотношение между объемами газа, потребляемыми различными категориями потребителей. Нормы потребления. Расчет годового потребления газа поселками и городами. Режим потребления газа. Годовой и суточный графики потребления. Коэффициенты неравномерности. Годовая и суточная неравномерности. Определение расчетных расходов газа. Методы расчета с использованием коэффициентов неравномерности.

14. Гидравлический расчет газовых сетей. Определение потерь давления в газопроводах. Расчет местных сопротивлений. Расчет тупиковых, разветвленных и кольцевых сетей. Принципы экономического распределения потерь давления в газопроводах. Определение расчетных расходов газа для участков, несущих путевую и транзитную нагрузки.

15. Регуляторы давления и газорегуляторные пункты. Основные типы регуляторов давления прямого и непрямого действий, используемых в системах газоснабжения. Газорегуляторные пункты и установки. Фильтры, предохранительные клапаны и арматура. Газораспределительные станции. Технологические схемы. Управление гидравлическими режимами распределения газа. Стабилизация гидравлического режима в городских системах.

16. Промышленные системы газоснабжения и их эксплуатация. Принципиальные схемы промышленных систем и их классификация. Количество и расположение газорегуляторных станций. Межцеховые газопроводы и их устройство. Внутрицеховые газопроводы. Организация эксплуатации системы газоснабжения. Испытание газопроводов и приемка в эксплуатацию. Контроль состояния газопроводов. Выявление и ликвидация утечек.

17. Системы снабжения потребителей сжиженными углеводородными газами. Свойства и состав сжиженных углеводородных газов. Технологическая схема газонаполнительной станции. Основные сооружения. Перелив сжиженных газов.

Газобалонные установки, их оборудование. Групповые установки с подземными резервуарами.

18. Теоретические основы сжигания газа. Цепное воспламенение. Основные режимы распространения пламени. Явление проскока и отрыва пламени. Условия, определяющие проскок и отрыв пламени. Распространение пламени в турбулентном потоке. Развитие турбулентного факела. Стабилизаторы горения. Стабилизация пламени у горелок инфракрасного излучения. Диффузионное горение. Диффузионное ламинарное пламя. Переход ламинарного строения в турбулентное. Турбулентный газовый факел.

Календарный план, наименование разделов учебного модуля с указанием трудоемкости по видам учебной работы представлены в технологической карте учебного модуля (приложение Б).

4.3 Темы и содержание практических занятий (семинаров)

Таблица 4

Практические занятия (семинары)	Трудоемкость, АЧ
1. Расчет потребности предприятия в сжатом воздухе.	3
2. Расчет показателей компрессорной станции.	3
3. Расчет промежуточных и концевых холодильников компрессоров.	3
4. Обоснование, выбор и определение основных характеристик установок осушки воздуха.	3
5. Пересчет характеристик турбокомпрессора с учетом конкретных режимов работы потребителя.	3
6. Расчет потребности в технической воде для конкретного предприятия.	3
7. Расчет технических показателей потребителя, использующего нагретую воду компрессоров.	3
8. Сравнение показателей, выбор по каталогам и расчет на ЭВМ и по номограммам устройств для охлаждения воды.	3
9. Расчетное определение холодопроизводительности потребителя на заданный температурный уровень и режим охлаждения.	3
10. Расчет системы холодоснабжения с теплопотребляющей холодильной установкой.	3
11. Сравнительный анализ установки, работающей в режиме производства холода и теплонасосной установки.	3
12. Расчетная оптимизация цикла ожижения воздуха для заданной схемы воздухоразделительной установки.	3
13. Сравнение способов определения минимальной работы разделения воздуха на компоненты..	3
14. Практические расчеты по e,h и T,S диаграммам для воздуха	3
15. Сопоставление материального и теплового балансов воздухоразделительной установки по заданным концентрациям продуктов разделения воздуха.	3
16. Расчет блоков схемы ВРУ (детандера, теплообменника, регенератора).	3
17. Расчет потребностей предприятия в продуктах разделения воздуха.	3
18. Расчет основных режимов распространения пламени.	3
Итого за 7 семестр:	**54**

4.4 Темы и содержание лабораторных работ

НЕТ

4.5 Самостоятельная работа студентов включает работу с интернет-источниками, предоставляющими свободный доступ к демо-версиям программных продуктов, проработку полученных на занятиях теоретических знаний с использованием дополнительной литературы и специализированных интернет-сайтов, анализ литературных и интернет-источников для выполнения контрольных работ и индивидуальных домашних заданий или в виде рефератов.

4.6 Организация изучения учебного модуля

Реализация данной модели предполагает использование следующих технологий стратегического уровня (задающих организационные формы взаимодействия субъектов образовательного процесса), осуществляемых с использованием определенных тактических процедур:

– лекционные (вводная лекция, информационная лекция, обзорная лекция, лекция-консультация, проблемная лекция);

– практические занятия (углубление знаний, полученных на теоретических занятиях, формирование практических навыков работы);

- лабораторные работы (углубление знаний, полученных на лабораторных занятиях, формирование практических навыков выполнения работы);

– самоуправления (самостоятельная работа студентов, самостоятельное изучение материала, написание реферата).

Рекомендуется использование информационных технологий при организации коммуникации со студентами для представления информации, выдачи рекомендаций и консультирования по оперативным вопросам (электронная почта), использование мультимедиа-средств при проведении лекционных и практических занятий.

5 Контроль и оценка качества освоения учебного модуля

Контроль качества освоения студентами УМ и его составляющих осуществляется непрерывно в течение всего периода обучения с использованием балльно-рейтинговой системы (БРС), являющейся обязательной к использованию всеми структурными подразделениями университета.

Для оценки качества усвоения курса используются следующие формы контроля:

– **текущий:** контроль выполнения практических аудиторных и домашних заданий, работы с литературой.

– **рубежный:** предполагает учет суммарных результатов по итогам текущего контроля за соответствующий период, систематичность работы и творческий рейтинг (участие в конференции, публикации, творческие идеи).

– **семестровый:** *экзамен* осуществляется посредством суммирования баллов за семестр.

Оценка качества освоения модуля осуществляется с использованием фонда оценочных средств, разработанного для данного модуля, по всем формам контроля в соответствии с положением от 25.06.2013 № 9 «Об организации учебного процесса по основным образовательным программам высшего профессионального образования».

Содержание видов контроля и их график отражены в технологической карте учебного модуля (Приложение Б).

6 Учебно-методическое и информационное обеспечение учебного модуля представлено Картой учебно-методического обеспечения (Приложение В)

7 Материально-техническое обеспечение учебного модуля

Для обеспечения освоения дисциплины необходимо наличие учебной аудитории, учебной лаборатории, компьютерного класса, тренажеров. Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и с учетом рекомендаций ПрОП ВО по направлению подготовки 13.03.01 “Теплоэнергетика и теплотехника” и профилю “Промышленная теплоэнергетика”. Целью выполнения самостоятельной работы является ознакомление с учебной и нормативно - справочной литературой, дополнительное изучение некоторых тем курса лекций. Объектом работы являются учебники и учебные и справочные пособия, учебно-методические разработки кафедры, журнальные публикации и т. п. источники.

Педагогическими контрольными материалами являются вопросы к экзамену, которые приведены в приложении А. Приложения (обязательные):

А – Методические рекомендации по организации изучения учебного модуля

Б – Технологическая карта учебного модуля

В - Карта учебно-методического обеспечения УМ

Г - Паспорт фонда оценочных средств модуля

Календарный план, наименование разделов учебного модуля с указанием трудоемкости по видам учебной работы представлены в технологической карте учебного модуля (приложение Б).

Приложение А
(обязательное)

Методические рекомендации по организации изучения учебного модуля «Технологические энергоносители предприятий»

1. Методические рекомендации по теоретической части учебного модуля

Образовательный процесс при изучении УМ строится на основе комбинации следующих образовательных технологий.

Интегральную модель образовательного процесса формируют технологии методологического уровня: модульно-рейтинговое обучение, контекстное обучение, технология поэтапного формирования умственных действий, технология развивающего обучения, элементы технологии развития критического мышления.

Реализация данной модели предполагает использование следующих технологий стратегического уровня (задающих организационные формы взаимодействия субъектов образовательного процесса), осуществляемых с использованием определенных тактических процедур:

- лекционные (вводная лекция, информационная лекция, обзорная лекция, лекция-консультация, проблемная лекция);
- практические (углубление знаний, полученных на теоретических занятиях, выполнение практических работ);
- активизации познавательной деятельности (приемы технологии развития критического мышления, работа с литературой);
- самоуправления (самостоятельная работа студентов, самостоятельное изучение материала).

Перечень тем и вопросов к разделам 1-9 (Часть I Технологические энергоносители)

1 Значение дисциплины в формировании инженера-теплоэнергетика. Современные масштабы и перспективы производства и потребления энергоносителей промышленными предприятиями.

2 Системы обеспечения энергоносителями потребителей промпредприятия, их классификация.

3 Элементы системы производство-коммуникация-потребитель и их взаимосвязь, использование в ее составе вторичных энегетических ресурсов предприятия.

4 Режимы производства и потребления энергоносителей. Методы термодинамической и термоэкономической оценки систем.

5 Основные потребители сжатого воздуха на промпредприятиях. Требования к качеству (содержание влаги, пыли и других примесей) технологического и силового воздуха.

6 Определение нагрузок на компрессорную станцию. Рабочее давление компрессоров при централизованной и децентрализованной системе производства сжатого воздуха, технико-экономическое сопоставление этих систем.

7 Выбор типа и количества компрессоров, устанавливаемых на компрессорной станции. Способы регулирования производительности компрессоров.

8 Вспомогательное оборудование, воздухопроводы, трубопроводы и арматура компрессорных станций.

9 Принципиальные схемы станций и их расчет.

10 Типовые компоновочные решения компрессорных станций различных производств, их энергетические и экономические показатели.

11 Использование в промышленности кислорода, азота и других продуктов разделения воздуха. Характеристики промышленных потребителей по расходам, концентрации, влажности и другим параметрам используемых кислорода и азота. Определение потребности предприятия, его цехов и установок в кислороде и азоте.

12 Конденсационно-испарительный и абсорбционно-десорбционный. Ожижители воздуха, их структура, основные термодинамические процессы и квазициклы.

13 Области применения однократной и двукратной ректификации, основные балансные уравнения.

14 Схемы, области применения, энергетические и экономические показатели, используемые материалы, методы расчета, выбор оборудования, типовые компоновки.

15 Требования охраны труда, противопожарной техники и гражданской обороны при проектировании и эксплуатации воздухоразделительных установок.

Перечень тем и вопросов к разделам 10-18
Часть II – Системы газоснабжения

16 Газовая промышленность России. Социальное значение систем газоснабжения. Состав газообразного топлива. Классификация горючих газов.

17 Осушка газа и очистка от сероводорода. Одоризация газа и одоризационные установки. Транспортирование газа на большие расстояния. Схема магистрального газопровода и его сооружений. Подземные хранилища.

18 Схемы городских систем газоснабжения. Классификация газопроводов. Присоединения потребителей к газовым сетям.

19 Системы с кольцевыми и тупиковыми газовыми сетями. Устройство и конструкции наружных газопроводов. Основные правила прокладки газопроводов различных давлений Подземные и надземные газопроводы.

20 Переходы газопроводами естественных и искусственных препятствий. Защита газопроводов от коррозии, природа электрохимической коррозии, электрическая коррозия блуждающими токами. Изоляция газопроводов и электрические методы защиты газопроводов от коррозии.

21 Основные категории потребителей и методы расчета потребляемого ими газа. Соотношение между объемами газа, потребляемыми различными категориями потребителей, нормы потребления.

22 Расчет годового потребления газа поселками и городами. Режим потребления газа. Годовой и суточный графики потребления.

23 Коэффициенты неравномерности, годовая и суточная неравномерности. Определение расчетных расходов газа, методы расчета с использованием коэффициентов неравномерности.

24 Определение потерь давления в газопроводах. Расчет местных сопротивлений,. тупиковых, разветвленных и кольцевых сетей. Принципы экономического распределения потерь давления в газопроводах. Определение расчетных расходов газа для участков, несущих путевую и транзитную нагрузки.

25 Основные типы регуляторов давления прямого и непрямого действий, используемых в системах газоснабжения. Газорегуляторные пункты и установки. Фильтры, предохранительные клапаны и арматура.

26 Газораспределительные станции. Технологические схемы. Управление гидравлическими режимами распределения газа. Стабилизация гидравлического режима в городских системах.

27 Принципиальные схемы промышленных систем и их классификация. Количество и расположение газорегуляторных станций.

28 Межцеховые газопроводы и их устройство. Внутрицеховые газопроводы. Организация эксплуатации системы газоснабжения. Испытание, контроль газопроводов и приемка в эксплуатацию. Выявление и ликвидация утечек.

29 Свойства и состав сжиженных углеводородных газов. Технологическая схема газонаполнительной станции. Основные сооружения. Перелив сжиженных газов. Газобалонные установки, их оборудование. Групповые установки с подземными резервуарами.

30 Цепное воспламенение. Основные режимы распространения пламени. Проскок и отрыв пламени. Распространение пламени в турбулентном потоке. Развитие турбулентного факела. Стабилизаторы горения и пламени у горелок инфракрасного излучения. Диффузионное горение и ламинарное пламя. Переход ламинарного строения в турбулентное. Турбулентный газовый факел.

Пример экзаменационного билета

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
Кафедра Промышленной энергетики
Экзаменационный билет № 1
Модуль **«Технологические энергоносители предприятий»**
Для направления подготовки 13.03.01 – Теплоэнергетика и теплотехника

1. Значение дисциплины в формировании инженера-теплоэнергетика. Современные масштабы и перспективы производства и потребления энергоносителей промышленными предприятиями.

2. Осушка газа и очистка от сероводорода. Одоризация газа и одоризационные установки. Транспортирование газа на большие расстояния. Схема магистрального газопровода и его сооружений. Подземные хранилища.

3. Найти высоту движущегося слоя активного угля в адсорбере для очистки сточной воды от фенола с расходом $Q=5м^3$ /ч, начальное содержание фенола $C_н$ кг/$м^3$, конечное содержание $C_к = 2\cdot10^{-4}$ кг/$м^3$, скорость воды $W=1\cdot10^{-3}$ м/с, коэффициент объёмного массопереноса $\beta_о = 5{,}6\cdot10^{-3}$ 1/с, содержание фенола в поступающем адсорбенте $\alpha_н = 1$кг/$м^3$.

Принято на заседании кафедры
промышленной энергетики Протокол № ____от “___”_____ 2017 г.

Заведующий кафедрой _____ (Ф. И. О.)

2. Методические рекомендации по практическим занятиям

Содержание дисциплины является достаточно разнородным и включает как общетеоретические и узкотехнологические вопросы. Предусмотрено изучение следующих вопросов: Рассмотрены современные системы обеспечения энергоносителями потребителей промпредприятия, их классификация, элементы системы производство-коммуникация-потребитель и их взаимосвязь, использование в ее составе вторичных энегетических ресурсов предприятия.

Главной задачей энергоносителей на предприятии является обеспечение условий технологического процесса. При выборе энергоносителей и их характеристик руководствуются в первую очередь условием максимальной дешевизны в рамках заданных параметров. При этом в первую очередь обращается внимание на следующие факторы: характеристики и условия протекания технологического процесса; характеристики и параметры установленного оборудования; параметры самого энергоносителя; характер обеспечения энергоносителями предприятия (внутреннее или внешнее) и т.д.

Все практические занятия делят на разделы, которые формируют представление по вопросам надежности в промышленности и закрепляют теоретический материал посредством решения задач. Решение задач направлено на закрепление теоретического материала. Задачи выдает преподаватель на практических занятиях в соответствии с графиком учебного процесса. Обсуждение основных вопросов дисциплины на практических и лабораторных занятиях позволит сформировать понимание проблем по вопросам надежности, а также наметить пути их решения. Данный вид работы необходим для овладения компетенциями, заданными в образовательном стандарте при подготовке специалиста высокого уровня.

Задача на экзамене и пример ее расчета
Расчет технологической схемы воздухоснабжения промышленного предприятия
Методические рекомендации по
«Технологическим энергоносителям предприятий»

Самостоятельная работа заключается в гидравлическом расчете разветвленной тупиковой воздуховодной сети.

Работа выполняется с пояснениями, рисунками и схемами в формате WORD.

Исходные данные:

- давление на выходе из компрессорной станции 800 кПа;
- давление у потребителей 600 кПа.

Условные обозначения на схемах:

КС – компрессорная станция;

- задвижка;

- сальниковый компенсатор;

- водомаслоотделитель.

Возможные схемы воздухоснабжения:

Вариант 0 (№10, 20, 30, …)

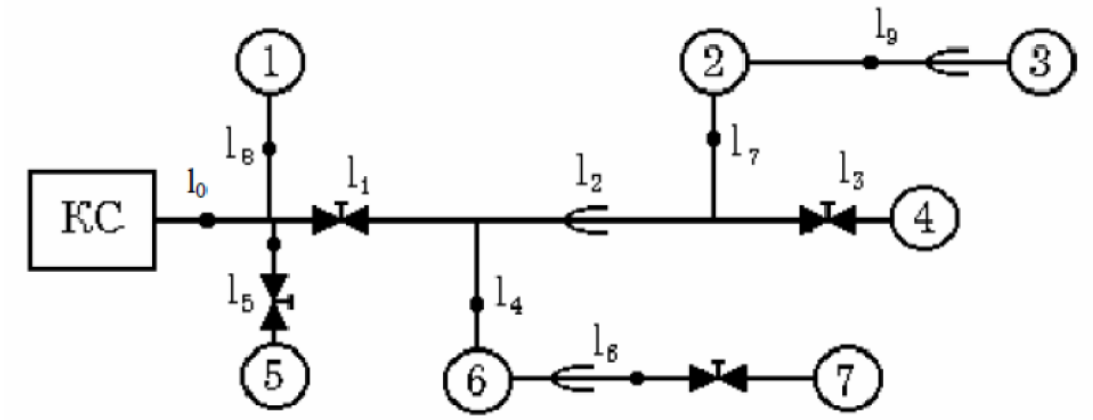


Таблица 1 – Расходы воздуха на потребителей, м³/мин

Вариант	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7	V_8	V_9
0	5	8	12	15	18	13	11	19	25

Таблица 2 – Длины участков воздуховодной сети, м

Вариант	l_0	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	l_6	l_7	l_8	l_9	l_{10}
0	25	150	280	135	145	115	110	85	65	100	75

Расчет рекомендуется выполнять в следующем порядке:

1. Определяются расходы на всех участках сети (Таблица 1).
2. Определяется главная магистраль – совокупность участков сети от компрессорной станции до самого отдаленного потребителя. Рассчитывается длина главной магистрали L.
3. Рассчитывается максимальное удельное падение давления на главной магистрали по формуле:

$$a = \frac{P_H - P_K}{L}, \text{ Па/м} \qquad (1)$$

Где: $P_н$ и $P_к$ - соответственно давления на выходе из компрессорной станции и у потребителей, Па.

4. Определяется эквивалентная длина каждого участка главной магистрали по формуле

$$l_{эк} = (1{,}1 - 1{,}15) \cdot l_г, \text{ м} \qquad (2)$$

Где $l_г$ - геометрическая длина участка, м.

5. Дальнейший расчет каждого из участков главной магистрали ведется последовательно по направлению от потребителя к компрессорной станции. Определяется падение давления на участке по формуле:

$$\Delta P = a \cdot l_г, \text{ Па} \qquad (3)$$

6. Определяется среднее давление на участке:

$$P_{ср} = P_н + \frac{\Delta P}{2}, \text{ Па} \qquad (4)$$

где: $P_н$ - давление в начале участка, Па.

7. Определяется диаметр трубопровода на участке по формуле:

$$d = \left(1220\frac{1_{эк}\cdot V^2}{P_{ср}\cdot \Delta P}\right)^{1/5,25}, \text{ м} \qquad (5)$$

где V - расход воздуха на участке, $м^3$ /с.

8. По таблице 4 выбирается ближайший стандартный диаметр трубопровода $d_{ст}$, м.

9. По таблице 4 определяется эквивалентная длина местного сопротивления для каждого установленного на участке вида оборудования $l^{эк}_{МСi}$, м.

10. Определяется фактическая длина участка

$$1_ф = 1_г + \sum_{i=1}^{n} 1^{эк}_{МС}, \text{ м} \qquad (6)$$

11. Определяется фактическое падение давления на участке:

$$\Delta P_ф = 1220\frac{1_ф\cdot V^2}{P_{ср}\cdot d^{5,25}_{ст}}, \text{ Па} \qquad (7)$$

12. Аналогичным образом (п.5-п.11) рассчитывается каждый участок главной магистрали. Результаты вычислений сводятся в таблицу:

Таблица 3

Расчет участков главной магистрали

№№ пп	$l_ф$, м	V, $м^3$/с	ΔP, Па	$P_{ср}$, Па	d, м	$d_{ст}$, м	$l_ф$, м	$\Delta P_ф$, Па

13. Расчет простых ответвлений проводится по аналогичной методике (п.4-п.11). Удельное падение давления на ответвлении определяется из выражения:

$$a_{отв} = \frac{P^{отв}_Н - P^{отв}_К}{1^{отв}_г}, \text{ Па/м} \qquad (8)$$

где $l_г^{отв}$ - геометрическая длина простого ответвления;

$P_Н^{отв}$ и $P_К^{отв}$ - соответственно давление в начале и конце ответвления, Па.

14. При расчете сложных ответвлений вначале рассчитываются участки от начала ответвления до самого удаленного потребителя (“главная магистраль ответвления”), а затем остальные участки. Результаты вычислений по каждому ответвлению сводятся в отдельную таблицу, аналогичную таблице 3.

15. Определяются суммарные потери давления от компрессорной станции до каждого потребителя.

Суммарные потери давления от компрессорной станции до каждого из потребителей на ответвлениях не должны отличаться от суммарных потерь давления до потребителей на главной магистрали более чем на 5%! Если потери давления различаются на большую величину, то необходимо произвести корректировку расчета за счет изменения диаметра трубопровода на участке, непосредственно примыкающем к соответствующему пункту потребления. Если при корректировке давления невязка давлений в 5% невозможна (например, при малых диаметрах трубопровода), то выбирается диаметр, при котором невязка становится минимальной. Варианты выбора с расчетами обязательно приводятся в тексте.

Таблица 4

Эквивалентные длины местных сопротивлений

Вид местного сопротивления	Эквивалентная длина, м															
Внутренний диаметр, мм	25	32	40	50	69	81	94	106	125	130	150	182	207	227	258	281
Задвижка	1,1	1,2	1,4	1,6	1.8	2.1	2.6	3.0	3.9	4.0	4.8	6.3	7.8	8.7	10.	11.6
Компенсатор сальниковый	0,4	0,5	0,6	0,8	0.9	1.0	1.3	1.5	1.9	2.0	2.4	3.1	3.6	4.2	4.5	5.5
Масловодотделитель	7,1	8,0	8,9	9,7	10.4	12.8	15.6	18.0	23.2	24.0	28.4	37.6	42.8	50.0	53.3	66.8

Приложение Б
(обязательное)

Технологическая карта
учебного модуля «Технологические энергоносители предприятий»
семестр 7, ЗЕТ- 6, вид аттестации - зачет, акад.часов 216, баллов рейтинга 300

№ и наименование раздела учебного модуля	№ неде-ли сем.	Трудоемкость, ак.час					Форма текущего контроля успев. (в соотв. с паспортом ФОС)	Макси м. кол-во баллов рейти нга
		Аудиторные занятия				СРС		
		ЛЕК	ПЗ	ЛР	АСРС			
УЭМ - **Технологические энергоносители предприятий**	5	36	54		18	90		250
разделы 1-9		18	27		9	45	Контр.работа 1	125
разделы 10-18		18	27		9	45	Контр.работа 2	125
экзамен							экзамен	50
Итого:	5	36	54		18	90		300

(Трудоемкость разделов УМ не должна быть, как правило, меньше двух академических часов)

Критерии оценки качества освоения студентами дисциплины в соответствии с Фондом оценочных средств (ФОС):

- оценка «удовлетворительно» – 50 - 69 % от 100*ЗЕТ
- оценка «хорошо» – 70 - 89 % от 200*ЗЕТ
- оценка «отлично» – 90 - 100 % от 300*ЗЕТ

Приложение В
(обязательное)
Карта учебно-методического обеспечения

Модуля: Технологические энергоносители предприятий
Направление (специальность): 13.03.031 – Теплоэнергетика и теплотехника
Формы обучения: очная
Курс - 3, семестр - 6
Часов**:** всего - 180, лекций - 36, практ. зан. - 54, лаб. раб. - нет, СРС и виды индивидуальной работы (курсовая работа, КП) - 18
Обеспечивающая кафедра: Промышленная энергетика

Таблица 1- Обеспечение модуля учебными изданиями

Библиографическое описание* издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
Учебники и учебные пособия		
1. Дараселия Н.В., Швецов И.В. Газоаналитическое тображение физико-химических явлений в производственных процессах. [электронный ресурс] Монография. Великий Новгород. 2012. – 112 с.Единое окно доступа к обозревательным ресурсам	10	
2. ЕфимоваЕ.И.Экологическое право России : Библиография (1958-2004 гг.):Учеб.пособие для вузов / Под ред.А.К.Голиченкова. - М. : Городец, 2007. - 415,[1]с.	1	
3. Ерофеев Б.В**.**Экологическое право России :Учеб.для вузов. - 20-е изд.,перераб.и доп. - М. : Эксмо, 2007. - 463с.	12	
Учебно-методические издания		
1		

Таблица 2 – Информационное обеспечение модуля

Название программного продукта, интернет-ресурса	Электронный адрес	Примечание
Технологические энергоносители предприятий [электронный ресурс] Рабочая программа/ Авт.-сост. И.В. Швецов; НовГУ.- В.Новгород, 2017.- 31с.	http://www.novsu.ru/cms/docs/r.406.cb.tinymceSetUrl/i.406/?id=822601	

Таблица 3 – Дополнительная литература

Библиографическое описание* издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
1. Гиргидов А.Д. Механика жидкости и газа (гидравлика) : учеб. для вузов : посв. 100-летию Инженер.-строит. фак. СПбГПУ / С.-Петерб.гос.политехн.ун-т. - 3-е изд., испр. и доп. - СПб. : Издательство Политехн.ун-та, 2007. - 544с. : ил. - Библиогр.:с.536-537. - Указ.:с.538-544. - ISBN 5-7422-0258-1(в пер.) : 525.00. [2015]	Ф1-3	
2.		

Действительно для учебного года 2017 / 2018

Зав. кафедрой ПРЭН _____ И.В. Швецов
подпись И.О.Фамилия

"01" марта 2017 г.

СОГЛАСОВАНО

НБ НовГУ: гл. библиотекарь _____ Калинина Н.А
должность подпись расшифровка

Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого
Научная библиотека
Сектор учета

ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ (СЕМИНАРОВ)
модуля «Технологические энергоносители предприятий» (по темам)

1. Расчет потребности предприятия в сжатом воздухе.
2. Расчет показателей компрессорной станции.
3. Расчет промежуточных и концевых холодильников компрессоров.
4. Обоснование, выбор и определение основных характеристик установок осушки воздуха.
5. Пересчет характеристик турбокомпрессора с учетом конкретных режимов работы потребителя.
6. Расчет потребности в технической воде для конкретного предприятия.
7. Расчет технических показателей потребителя, использующего нагретую воду компрессоров.
8. Сравнение показателей, выбор по каталогам и расчет на ЭВМ и по номограммам устройств для охлаждения воды.
9. Расчетное определение холодопроизводительности потребителя на заданный температурный уровень и режим охлаждения.
10. Расчет системы холодоснабжения с теплопотребляющей холодильной установкой.
11. Сравнительный анализ установки, работающей в режиме производства холода и теплонасосной установки.
12. Расчетная оптимизация цикла ожижения воздуха для заданной схемы воздухоразделительной установки.
13. Сравнение способов определения минимальной работы разделения воздуха на компоненты..
14. Практические расчеты по e,h и T,S диаграммам для воздуха
15. Сопоставление материального и теплового балансов воздухоразделительной установки по заданным концентрациям продуктов разделения воздуха.
16. Расчет блоков схемы ВРУ (детандера, теплообменника, регенератора).
17. Расчет потребностей предприятия в продуктах разделения воздуха.
18. Расчет основных режимов распространения пламени.

Практические работы

Практические работы для текущего контроля знаний модуля «**Технологические энергоносители предприятий**» (по темам)

Введение

Данное руководство к практическим работам содержит описание трех лабораторных работ и методические указания к ним.

В методических указаниях приведены краткие теоретические сведения о работе приборов и схем и математические соотношения для выполнения расчетных заданий. Это обусловлено тем, что по учебному плану практические работы выполняются параллельно с чтением лекций, поэтому лабораторные работы могут опережать лекции по данной теме. Раздел "Основные теоретические сведения" составлен в объеме, достаточном для подготовки и выполнения лабораторной работы.

В руководстве приведены вопросы для самопроверки, что ориентирует студентов в главном направлении исследования.

Практическая работа №1

"Исследование малообъемного масляного выключателя"

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

1. Ознакомиться с видами высоковольтных выключателей, конструктивными особенностями, способами гашения электрической дуги.

2. Исследовать малообъемный масляный выключатель типа ВМГ-10: конструктивная схема, технические характеристики.

2. УКАЗАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

1. Ознакомиться с графиком выполнения лабораторной работы и сдачи отчета.

2. Изучить необходимый теоретический материал (см. список рекомендуемой литературы и раздел 3 данного методического руководства). Подготовить таблицу для записи результатов измерения величины переходного сопротивления контактов выключателя.

3. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Общие сведения о выключателях

Выключатель – это коммутационный аппарат автоматического действия, предназначенный для включения и отключения цепи тока. Основные требования, предъявляемые к выключателю:

- надежное отключение любых токов: номинальных, рабочих, аварийных, индуктивных токов ненагруженных трансформаторов, емкостных токов, токов холостых линий электропередач;

- высокое быстродействие, пригодность для быстродействующего повторного включения (АПВ).

Приводы выключателей

Привод служит для включения выключателя, удержания его во включенном положении и отключения. Привод выключателя должен обеспечить необходимую надежность работы, осуществлять дистанционное управление выключателем при требуемом быстродействии, иметь малые размеры, потреблять небольшое количество электроэнергии.

В соответствии с назначением привод имеет три основные части: включающее устройство, удерживающий механизм (защелка, собачка) и отключающий механизм, освобождающий защелку при отключении. Наибольшая работа совершается приводом при включении, так как при этой операции преодолевается собственная масса подвижных контактов, сопротивление отключающих пружин, которыми снабжены выключатели (кроме воздушных выключателей), трение и сила инерции в движущихся частях. До начала операции "отключено" отключающие пружины должны быть заведены и заперты. Назначением отключающего устройства является освобождение защелки, удерживающей механизм во включенном положении. Удерживающий механизм в большинстве выключателей (кроме воздушных) выполнен в виде механизма свободного расцепления.

4. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

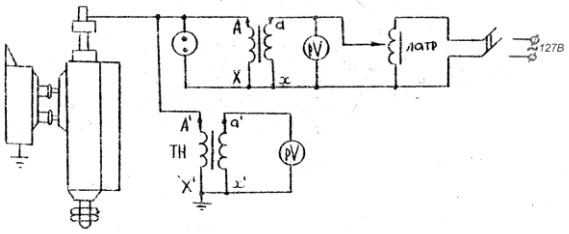


Рисунок 4 – Схема испытания изоляции выключателя

Перед испытанием схема должна быть проверена путем подачи напряжения при разомкнутой и замкнутой накоротко обмотке А-Х испытательного трансформатора (при коротком замыкании обмотки вывод А трансформатора заземляется).

При испытании строго соблюдаются следующие правила безопасности:

- выключатель, испытательный трансформатор и трансформатор напряжения ограждаются;
- корпус выключателя, трансформаторов и зажимы, имеющие маркировку **X** и ***x*** заземляются;
- возле производящего испытание должен быть установлен однополюсный рубильник с видимым разрывом, которым подается напряжение на схему;
- при отключенном рубильнике на его контакты прокладывается лист гетинакса;
- перед включением этого рубильника производящий испытание обязан громко предупредить: "Подаю напряжение";
- испытание производится одним человеком с резинового коврика и в резиновых перчатках, под контролем преподавателя или старшего лаборанта. Другие студенты наблюдают за его действиями.

5. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

5.1. Проверка правильности сборки и регулировки выключателя

Дугогасительные камеры устанавливаются в цилиндр с выхлопными отверстиями, расположенными со стороны опорных изоляторов. Отверстия в распорных бакелитовых цилиндрах должны совпадать с отверстиями стальных цилиндров. При установке в цилиндр дугогасительной камеры необходимо проверить расстояние от ее нижней поверхности до верха розеточного контакта. Это расстояние должно быть выдержано для выключателей типа ВМГ-10 в пределах $1{,}5 \pm 1 мм$.

Указанную проверку рекомендуется производить следующим образом:

- измерить высоту дугогасительной камеры до установки ее в цилиндр (размер Б, рисунок 5);
- измерить линейкой расстояние от панелей розеточного контакта до верхнего торца стального цилиндра (размер А);
- после установки камеры в цилиндр измерить линейкой расстояние от камеры до верхнего торца цилиндра (размер В).

Расстояние от камеры до розеточного контакта определится как разность замеренных размеров $А - (Б + В)$, (см. рисунок 5).

Если по каким-либо причинам это расстояние не соответствует норме, то необходимо изменить соответственно высоту установки камеры в цилиндре путем прокладки картонных шайб под опорный бакелитовый цилиндр.

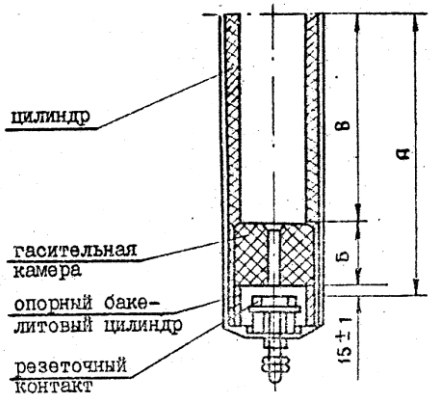


Рисунок 5 – Разрез по горшку малообъемного масляного выключателя

Полностью собранный цилиндр выключателя проверяется на отсутствие заедания или излишнего трения контактного стержня. При отсутствии заедания стержень, опущенный из крайнего верхнего положения, под действием собственного веса должен зайти в розеточный контакт не менее чем на 40 мм.

5.2. Измерение сопротивления контактов

Замер переходного сопротивления контактов производится при помощи любого измерительного моста. В лабораторной работе используется мост постоянного тока типа М0-62, класс точности 0,1.

Перед измерением переходного сопротивления в действующих установках следует отключить масляный выключатель (МВ), а затем разъединитель. Включить снова МВ и индикатором проверить отсутствие напряжения на силовых зажимах. Индикатор обязательно проверяется на исправность на действующей установке. Надеть защитные средства (боты и перчатки) и наложить заземление на каждую фазу МВ. На той фазе, на которой производится замер омического сопротивления, в период замера снимается заземление. Произвести поочередно измерение омического сопротивления на фазах А, В и С масляного выключателя. Результаты измерения занести в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты измерения переходного омического сопротивления

Фаза А	Фаза В	Фаза С
R, Ом	R, Ом	R, Ом

5.3. Измерение хода контактных стрежней

Регулировка выключателя должна обеспечить ход контактных стержней 250 ± 5мм. Эта величина определяется следующим образом: при включенном выключателе на стержневом контакте наносится метка на уровне кронштейна, установленного на проходном изоляторе. Затем выключатель отключают и точно также на стержневом контакте наносится вторая метка. Расстояние между метками есть ход контактного стержня.

5.4. Измерение хода в контактах и определение расстояния от контактного стержня до дна розеточного контакта при включенном выключателе

Проверку наличия запасного хода рекомендуется производить следующим образом: при включенном вручную выключателе отсоединить от фарфоровой тяги токоведущий стержень и опустить его вниз до упора в основание розеточного контакта "до дна", нанести метку, затем в том же положении выключателя стержень приподнять и соединить с фарфоровой тягой и аналогичным способом нанести вторую метку. Измеренное расстояние между двумя метками и будет равно запасному ходу контактных стержней, который должен быть равен $25 \div 30$мм.

Проверка хода контактного стержня в розеточном контакте осуществляется следующим образом: в отключенном положении выключателя отсоединяют контактный стержень от фарфоровой тяги и от руки опускают до соприкосновения с розеточным контактом, делая в этом положении метку. Затем стержень опускают "до дна" розеточного контакта и снова делают метку. Вычитая из расстояния между этими метками величину запасного хода, определенного ранее, находят ход стержневого контакта в розеточном контакте.

5.5. Определение времени включения и отключения выключателя

Для определения времени включения и отключения выключателя используется "виброграф". Он представляет собой электромеханическое устройство, в котором имеется электромагнит с подвижным якорем. К якорю прикреплен карандаш, который своим концом касается ленты, расположенной на диске, жестко скрепленным с валом выключателя. При включении или отключении выключателя диск приходит в движение. Так как обмотка электромагнита вибрографа питается от сети с частотой 50 Гц, то карандаш на ленте вычерчивает синусоиду. Период Т этой синусоиды будет равен 0,01 с, т.к. якорь электромагнита вибрографа колеблется с частотой в два раза большей, чем частота сети. Отсюда очевидно, что подсчитав и умножив число синусоидальных колебаний на ленте n на их период, т.е. на 0,01 с, получим время включения или отключения выключателя: $t = T \cdot n$.

5.6. Определение скорости движения контактов выключателя

Скорость движения контактов в функции пути определяется следующим образом. При работающем вибрографе производим дистанционное включение выключателя. Карандаш вибрографа наносит на ленту кривую, абсциссы которой в определенном масштабе равны пути, проходимому контактной системой. На одном из подвижных контактов отмечаем весть путь контактной системы и разбиваем его на пять равных участков ΔS .

Затем постепенно включая выключатель от руки переносим эти метки на ленту. Скорость движения на отдельных участках определяем как отношение $\Delta S / \Delta t$,

где Δt – время, за которое контакт проходит путь ΔS , подсчитанное для каждого из участков пути по ленте.

6. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Результаты измерений величин переходного сопротивления контактов занести в табл. 1. Сделать анализ влияния различных факторов на величину измеряемого сопротивления.

7. ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

Сделать анализ результатов замера переходного сопротивления контактов; дать заключение о состоянии выключения.

8. УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

В отчете дать краткое описание устройства и принципа действия выключателя ВМГ-10, привести его технические характеристики. Описать порядок разборки и сборки одной фазы выключателя. Привести методику проверки регулировки выключателя с приведением соответствующих эскизов и указанием показателей, по которым проверяется выключатель. Дать анализ замера переходного сопротивления контактов.

9. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Перечислите основные виды выключателей, применяемых в электроустановках.
2. Укажите области применения различных выключателей.
3. Какие требования предъявляют к силовым выключателям?
4. Охарактеризуйте способы гашения электрической дуги в выключателе: а) воздушном; б) элегазовом; в) вакуумном, г) электромагнитном; д) масляном (малообъемном, баковом).
5. В чем состоит существенное отличие между силовым выключателем и выключателем нагрузки?
6. Проанализируйте достоинства и недостатки выключателей различного вида.
7. В чем заключаются преимущества малообъемного масляного выключателя по сравнению с баковым выключателем?
8. Устройство дугогасительной камеры исследуемого выключателя.
9. Объясните, как происходит гашение электрической дуги в исследуемом выключателе?
10. Зачем измеряют переходное сопротивление контактов выключателя?
11. Как проверить правильность установки дугогасительной камеры выключателя?
12. Укажите порядок измерения переходного сопротивления контактов выключателя.
13. От каких факторов зависит величина переходного сопротивления контактов выключателя?
14. Назначение силового выключателя и его основные элементы.
15. Назначение привода выключателя. Основные узлы привода.
16. Дайте краткую характеристику приводов выключателя.

Практическая работа №2
"Графики электрических нагрузок"

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

1. Изучение видов графиков электрических нагрузок и принципов их построения.
2. Вычисление коэффициентов графиков электрических нагрузок и величин, характеризующих работу узла нагрузок.

2. УКАЗАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

1. Ознакомиться с графиком выполнения лабораторной работы и сдачи отчета.
2. Изучить необходимый теоретический материал (см. список рекомендуемой литературы и раздел 3 данного методического руководства).
3. Ознакомиться с порядком выполнения лабораторной работы и подготовить необходимые таблицы.

3. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Правильное определение электрических нагрузок является основой для построения и эксплуатации рациональных систем электроснабжения промышленных предприятий. Графики электрических нагрузок, характеризующих режимы электропотребления промышленными предприятиями, технологическими установками и механизмами, позволяют определить расчетные нагрузки, на основании которых выбираются все элементы системы электроснабжения цеха, предприятия. При проектировании и эксплуатации систем электроснабжения промышленных предприятий основными являются три вида нагрузок: активная мощность P, кВт, реактивная мощность Q, квар, и ток I, А.

В течение суток потребляемая предприятием (цехом) мощность может изменяться в широких пределах, в зависимости от режима работы. Поэтому характеристика потребителей по мощности или току будет полной только в том случае, если известна вся совокупность возможных изменений мощности, необходимой данному предприятию-потребителю. При числе электроприемников более трех, разнородных по мощности и режиму работы, суммарная их нагрузка образует некоторую переменную величину, которая может быть представлена в виде графика мощности или тока в функции времени. Наряду с суммарными графиками (для группы электроприемников (ЭП)) строят и индивидуальные графики (для отдельных потребителей электроэнергии). Графики нагрузок строят по показаниям приборов (счетчиков или самопишущих приборов). Индивидуальные графики необходимы для определения нагрузок мощных приемников электроэнергии (электрические печи, главные приводы прокатных станов т.д.). Обозначаются такие графики строчными буквами $p = f(t)$, $q = f(t)$, $i = f(t)$. При проектировании систем электроснабжения промпредприятий используются, как правило, групповые графики (отдельных цехов, трансформаторов, линий распределительной сети и предприятия в целом), которые обозначаются прописными буквами $P = f(t)$, $Q = f(t)$, $I = f(t)$.

Графики электрических нагрузок, встречающиеся на практике, разнообразны по виду и представляют собой плавные, ломанные или ступенчаты кривые, построенные в прямоугольных осях координат [1,2]. По продолжительности различают суточные, месячные, сезонные (зима, лето и т.д.) и годовые графики электрических нагрузок. В подсчете электрических нагрузок используют, как правило, суточные и годовые графики.

Основными показателями графиков электрических нагрузок являются:

$K_{зап}$ – коэффициент заполнения графика нагрузки;

$K_{ф}$ – коэффициент формы;

$K_{и}$ – коэффициент использования;

$K_{в}$ – коэффициент включения;

$K_{з}$ – коэффициент загрузки;

$K_{с}$ – коэффициент спроса;

$K_{р}$ – расчетный коэффициент;

$K_{рм}$ – коэффициент разновременности максимумов нагрузки.

Все коэффициенты графиков активной мощности обозначаются индексом "*a*", реактивной мощности – "*p*", тока – "*I*".

Коэффициент загрузки и коэффициент включения связаны непосредственно с технологическим процессом и изменяются с изменением режима работы электроприемников.

Коэффициенты графиков электрических нагрузок определяются непосредственно из самих графиков через значения потребляемой мощности или тока, времени цикла, пауз и работы ЭП.

Коэффициент использования является основным показателем для расчета нагрузки. Данный коэффициент характеризует использование активной мощности и определяется отношением средней активной мощности одного ЭП или группы приемников за наиболее загруженную смену P_c к номинальной мощности $P_н$:

$$K_и = \frac{P_c}{P_н}. \qquad (1)$$

Коэффициентом включения ЭП называется отношение продолжительности включения приемника в цикле $t_в$ ко всей продолжительности цикла $t_ц$

$$K_в = \frac{t_в}{t_ц} = \frac{(t_р + t_{х.х})}{t_ц}, \qquad (2)$$

где $t_р$ – время работы ЭП,

$t_{х.х}$ – время холостого хода.

Коэффициент загрузки ЭП по активной мощности представляет собой отношение фактически потребленной или средней мощности $P_{с.в}$ (или тока $I_{с.в}$) за время включения $t_в$ в течение цикла к его номинальной мощности $P_н$ (или току $I_н$)

$$K_з = \frac{P_{с.в}}{P_н}. \qquad (3)$$

Коэффициентом формы графика нагрузки называется отношение среднеквадратичной полной мощности $S_{ск}$ (или среднеквадратичного тока $I_{ск}$) ЭП или группы ЭП к среднему значению мощности $S_с$ (тока $I_с$) за тот же период времени

$$K_ф = \frac{S_{с.к}}{S_с}. \qquad (4)$$

оэффициент формы характеризует неравномерность графика нагрузки во времени. При неизменной во времени нагрузке $K_ф = 1$, в остальных случаях $K_ф > 1$. Будучи отнесены к активной и реактивной мощностям, коэффициенты формы (для группы ЭП) определяются по следующим формулам

$$K_{ф.а} = \frac{P_{с.к}}{P_с}; \quad K_{ф.р} = \frac{Q_{с.к}}{Q_с}. \qquad (5)$$

Квадрат среднеквадратичной активной мощности за время t определяется из выражения

$$P_{ск}^2 = \frac{P_1^2 \Delta t_1 + P_2^2 \Delta t_2 + ... + P_m^2 \Delta t_m}{\sum_1^m \Delta t_i}. \qquad (6)$$

Если интервалы времени Δt_i принять одинаковыми, как показано на рисунке 1, т.е. $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t_3 = ... = \Delta t_m = \Delta t$, то получим

$$t = \sum_1^m \Delta t_i = m \Delta t.$$

При этом формула (6) упростится:

$$P_{с.к}^2 = \frac{\Delta t (P_1^2 + P_2^2 + ... + P_m^2)}{m \Delta t} = \frac{1}{m} \sum_1^m P_i^2. \qquad (7)$$

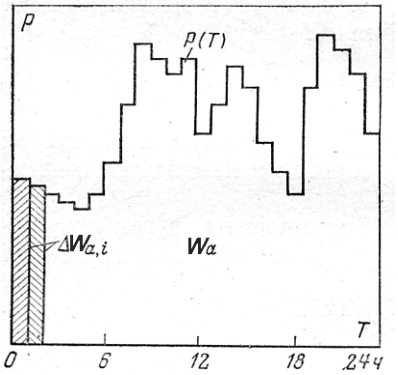


Рисунок 1 – Групповой график нагрузок по активной мощности

$P_1, P_2, P_3 ... P_m \equiv P_i$ – активная мощность на i-м интервале графика активной мощности

$$P_i = \frac{\Delta W}{\Delta t}, \qquad (8)$$

где ΔW – расход активной мощности за время Δt.

С учетом выражения (8) преобразуем формулу (7) к виду

$$P_{с.к}^2 = \frac{\sum_1^m (\Delta W_i)^2}{m(\Delta t)^2}. \quad (9)$$

Средняя активная мощность за время t равна

$$P_c = \frac{W}{t}, \quad (10)$$

где W – расход активной энергии за время t.

Расчетным коэффициентом называется отношение расчетной (потребляемой) активной мощности $P_р$ к средней мощности за исследуемый период

$$K_р = \frac{P_р}{P_c}. \quad (11)$$

Коэффициент спроса представляет собой отношение расчетной или потребляемой активной мощности $P_р$ к номинальной (установленной) активной мощности группы ЭП

$$K_c = \frac{P_р}{P_н}. \quad (12)$$

Коэффициентом заполнения графика нагрузок называется отношение средней активной мощности к максимальной за исследуемый период времени

$$K_{зап} = \frac{P_c}{P_м}. \quad (13)$$

Максимальная нагрузка $P_м$ определяется исходя из периода осреднения графика нагрузки, равного 0,5*ч*, т.е. за основу берется так называемый получасовой максимум нагрузки.

Коэффициентом разновременности максимумов нагрузок по активной мощности $K_{рм}$ называется отношение суммарного расчетного максимума активной мощности узла системы электроснабжения к сумме расчетных максимумов активной мощности отдельных групп ЭП, входящих в данный узел системы

$$K_{рм(а)} = \frac{P_р}{\sum_1^n P_{pi}}. \quad (14)$$

Для суточного графика характерны следующие величины:

$P_м$ – максимум активной нагрузки;

$Q_м$ – максимум реактивной нагрузки;

$tg\varphi_м$ – коэффициент мощности максимума, определяемый по формуле

$$tg\varphi_м = \frac{Q_м}{P_м}; \quad (15)$$

$W_{сут}$ – суточный расход активной энергии;

$V_{сут}$ – суточный расход реактивной энергии;

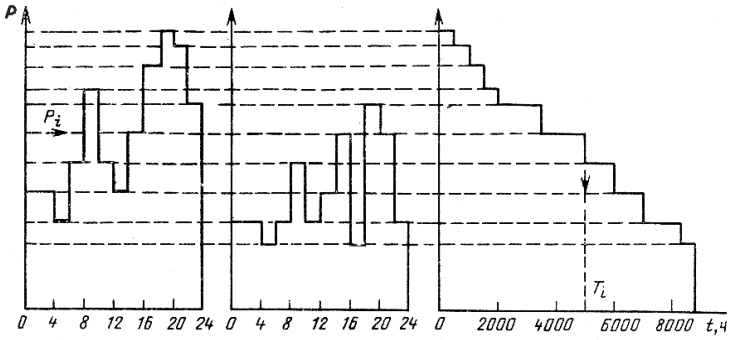
$tg\varphi_{сут}$ – средневзвешенный за сутки коэффициент мощности

$$tg\varphi_{сут} = \frac{V_{сут}}{W_{сут}}; \quad (16)$$

$K_{зап.а}^{сут}$, $K_{зап.р}^{сут}$ – соответственно коэффициент заполнения суточного графика активной энергии и реактивной

$$K_{зап.а}^{сут} = \frac{W_{сут}}{24P_м}; \quad K_{зап.р}^{сут} = \frac{V_{сут}}{24P_м}. \quad (17)$$

Годовые упорядоченные графики строятся по убывающим ординатам соответствующих графиков $P = f(t)$ и $Q = f(t)$ в течение года [3]. Приближенно годовой график можно построить, взяв за основу два характерных суточных графика: один график – за летний день (июнь), второй – за зимний день (декабрь). Построение годового упорядоченного графика активной мощности показано на рисунке 2.



Зимние сутки Летние сутки

Рисунок 2 – Построение годового упорядоченного графика по характерным суточным графикам

При построении условно принимают, что продолжительность зимнего периода равна 7 месяцев (213 суток), а летнего – 5 месяцев (125 суток). В указанных интервалах "зимний" и "летний" суточные графики не изменяются [3].

График начинают строить с максимальной нагрузки и выполняют построение в порядке постепенного снижения мощностей. Для этой цели через оба суточных графика проводят ряд горизонтальных линий, расстояние между которыми выбирают в соответствии в желаемой точностью построения. На нанесенных горизонтальных линиях на годовом графике откладывают времена t_i, *ч*, определяемые из выражения

$$t_i = 213t_{iз} + 125t_{iл}, \tag{18}$$

где $t_{iз}$ и $t_{iл}$ – длительность нагрузки P_i соответственно на зимнем и летнем суточном графике.

Для годовых графиков характерными величинами являются:

$P_м$, $Q_м$ – максимум нагрузки (активной и реактивной);

$W_Г$, $V_Г$ – годовой расход активной и реактивной энергии;

$T_{макс.а}$, $T_{макс.р}$ – число часов использования максимумов активной и реактивной нагрузок;

$tg\varphi_Г$ – средневзвешенный (годовой) коэффициент мощности

$$tg\varphi_Г = \frac{V_Г}{W_Г}; \tag{19}$$

$K^Г_{зап.а}$, $K^Г_{зап.р}$ – коэффициенты заполнения годовых графиков активной и реактивной нагрузок

$$K^Г_{зап.а} = \frac{T_{макс.а}}{8760}, \quad K^Г_{зап.р} = \frac{T_{макс.р}}{8760} \tag{20}$$

4. ЗАДАНИЕ НА ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

Построить графики электрических нагрузок узла энергосистемы с изменяющейся во времени нагрузкой. Рассчитать коэффициенты графиков электрических нагрузок и величины, характеризующие работу узла нагрузки. Электроснабжение узла нагрузки (предприятия, цеха) осуществляется по ЛЭП – 110 кВ. Нагрузка предприятия может быть как чисто активной, так и смешанной. Схема питания электрических нагрузок исследуемого узла показана на рисунке 3.

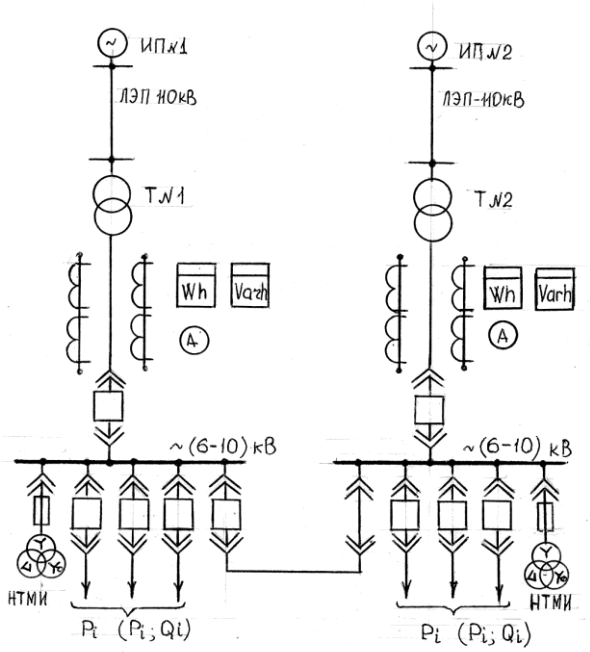


Рисунок 3 – Упрощенная однолинейная схема узла электрических нагрузок

Приборы учета (счетчики активной и реактивной энергии) установлены на вводах 10 (6) кВ подстанции, питающей предприятие. Показания приборов учета, снятые за летние и зимние сутки, приведены в таблице вариантов задания, выдаваемого преподавателем.

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Получить задание у преподавателя. Исходные данные представить в виде таблицы.

2. Построить суточные графики электрических нагрузок исследуемого узла нагрузок $P = f(t)$, $Q = f(t)$, $I = f(t)$:

а) с чисто активной нагрузкой;

б) со смешанной нагрузкой.

3. По графикам активных нагрузок определить количество потребляемой электроэнергии.

4. Построить годовые упорядоченные графики активной и реактивной мощности.

5. По полученным графикам рассчитать коэффициент мощности данного узла ($tg\varphi_м$, $tg\varphi_{сут}$), время использования максимальных нагрузок $T_{макс}$, среднюю (и среднеквадратичную) активную мощность P_c ($P_{ск}$) за сутки, среднюю реактивную мощность за сутки Q_c, коэффициенты графиков нагрузки. Результаты вычислений оформить в виде таблиц.

6. ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

В выводах по работе дать характеристику полученных графиков электрических нагрузок.

7. УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Составить отчет по работе, в котором привести: цель работы, схему узла нагрузки, графики нагрузок, результаты вычислений, выводы по работе.

8. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Виды графиков нагрузок и способы их получения в условиях эксплуатации.

2. Задачи, решаемые с помощью графиков нагрузок при эксплуатации и проектировании.

3. Какие величины определяют по суточному графику нагрузки?

4. Какие величины определяют по годовому графику нагрузки?

5. Объясните способ построения годового упорядоченного графика активной мощности, используемый в данной лабораторной работе.

6. Охарактеризуйте коэффициенты графиков нагрузок. Цель их определения.

7. Определение коэффициентов графиков нагрузок.

Практическая работа №3

"Выбор места расположения питающих подстанций промышленного предприятия"

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

1. Построение картограммы электрических нагрузок цеха (предприятия).

2. Определение центра и зоны рассеяния центра электрических нагрузок

2. УКАЗАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ К РАБОТЕ

1. Ознакомиться с графиком выполнения лабораторной работы и сдачи отчета.

2. Изучить необходимый теоретический материал (см. список рекомендуемой литературы) и раздел 3 данного методического руководства.

3. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Подстанция является одним из основных звеньев системы электроснабжения любого промышленного предприятия. Поэтому правильный выбор ее местоположения на территории предприятия (цеха) является одним из важнейших вопросов при построении рациональных систем электроснабжения.

Исходными данными при выборе места расположения подстанции служат генеральный план промышленного объекта и установленные или расчетные мощности его потребителей. При выборе места сооружения ГПП – это генплан завода и мощности цехов, а при размещении ТП на территории цеха используют генплан цеха и мощности всех электроприемников (ЭП), установленных в цехе.

При проектировании системы электроснабжения на генеральный план промышленного объекта наносится картограмма нагрузок, которая представляет собой размещенные на генплане окружности. Площади, ограниченные этими окружностями, в выбранном масштабе равны расчетным нагрузкам цеха (или ЭП). Для каждого цеха наносится своя окружность, центр которой совпадает с центром нагрузки цеха. Центр нагрузок предприятия или отдельного цеха является символическим центром потребления электрической энергии рассматриваемого объекта. Электроподстанцию (ГПП, ПГВ, ТП) следует располагать как можно ближе к центру нагрузок. Это позволяет приблизить высокое напряжение к центру потребления электроэнергии, а следовательно сократить протяженность как распределительных систем высокого напряжения, так и низковольтных цеховых систем, уменьшить расход проводникового материала и снизить потери электрической энергии.

Рассмотрим картограмму нагрузок промышленного предприятия, генеральный план которого показан на рисунке 1.

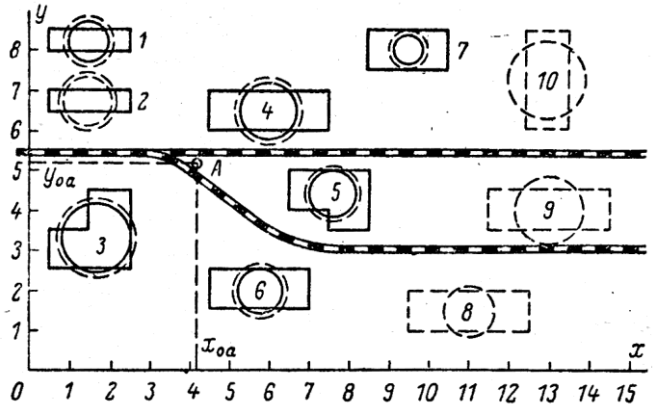


Рисунок 1 – Генеральный план промышленного предприятия с картограммой и центром электрических нагрузок

Картограмма нагрузок, нанесенная на генплан завода, состоит из окружностей. Площадь, ограниченная каждой из этих окружностей $\pi \cdot r_i^2$, равна нагрузке P_i, кВт соответствующего цеха

$$P_i = \pi \cdot r_i^2 \cdot m, \tag{1}$$

откуда радиус окружности r_i, мм определяется как

$$r_i = \sqrt{\frac{P_i}{\pi \cdot m}}, \tag{2}$$

где m – масштаб для определения площади круга, кВт/мм^2.

Имеется рад математических методов для определения центра электрических нагрузок (ЦЭН) аналитическим путем. Один из методов основывается на некоторых положениях теоретической

механики. Если считать нагрузки цеха равномерно распределенными по площади цеха, то ЦЭН *i*-го цеха можно принять совпадающим с центром тяжести фигуры цеха на плане.

Координаты центра электрических нагрузок предприятия можно определить по формулам

$$X = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i x_i}{\sum_{i=1}^{n} P_i}; \quad Y = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i y_i}{\sum_{i=1}^{n} P_i}, \tag{3}$$

где x_i и y_i – координаты ЦЭН *i*-го цеха.

В соответствии с этим методом ЦЭН предприятия определяется как некоторая постоянная точка на генеральном плане промышленного предприятия. Такое положение нельзя считать правильным, поскольку координаты ЦЭН реального предприятия не будут постоянными. Это объясняется следующими причинами:

- изменениями потребляемой мощности (отдельным ЭП, цехами, предприятием) в соответствии с графиком нагрузок;
- изменениями сменности промышленного предприятия;
- развитием предприятия (введением новых объектов).

Следовательно, правильнее говорить не о ЦЭН предприятия как некоторой постоянной точке на генплане, а о зоне рассеяния ЦЭН, т.е. некоторой области на плане, точки которой соответствуют возможному положению центра электрических нагрузок.

Возможные изменения положения ЦЭН при изменении нагрузки *i*-го цеха определяют с учетом графиков нагрузок цехов завода. Координаты центров электрических нагрузок для *к*-го часа суток рассчитывают по формулам

$$X_{ki} = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i k_{ik} x_i}{\sum_{i=1}^{n} P_i k_{ik}}; \quad Y_{ki} = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i k_{ik} y_i}{\sum_{i=1}^{n} P_i k_{ik}}, \tag{4}$$

где P_i – установленная мощность электроприемников, кВт;

k_{ik} – мощность *i*-го цеха в *к*-й час суток, о.е.

Распределение случайных координат центра электрических нагрузок соответствует нормальному закону распределения (закону Гаусса-Лапласа) [1]. Определим числовые характеристики нормального распределения:

- математическое ожидание случайных координат ЦЭН

$$M_X = \sum_{k=1}^{24} \frac{X_{ki}}{24}; \quad M_Y = \sum_{k=1}^{24} \frac{Y_{ki}}{24}, \tag{5}$$

- среднеквадратическое отклонение случайных координат ЦЭН

$$\sigma_X = \sqrt{\sum_{i=1}^{24} \frac{(M_X - X_{ki})^2}{24}}; \quad \sigma_Y = \sqrt{\sum_{i=1}^{24} \frac{(M_Y - Y_{ki})^2}{24}}. \tag{6}$$

После определения числовых характеристик определим зону рассеяния случайных координат ЦЭН. Если пересечь поверхность нормального распределения горизонтальной плоскостью, параллельной плоскости *xOy*, то проекция полученного сечения на плоскость *xOy* будет представлять собой эллипс. Оси эллипса рассеяния будут располагаться параллельно осям координат, что справедливо при независимости случайных координат X_{ki} и Y_{ki} ЦЭН.

В общем случае координаты ЦЭН следует рассматривать как зависимые величины. Вероятностная зависимость случайных величин X_{ki} и Y_{ki} характеризуется коэффициентом корреляции k_k, который можно определить по формуле

$$K_k = \frac{\sum_{1}^{n} (X_{ki} - M_X)(Y_{ki} - M_Y)}{24\sigma_X \cdot \sigma_Y}, \tag{7}$$

где *n* – количество пар чисел статистической совокупности X_{ki} и Y_{ki};

M_X, M_Y – значения математического ожидания, определенные по формуле (5).

Значение коэффициента корреляции может изменяться в пределах $-1 < K_k < 1$; при этом оси эллипса рассеяния образуют некоторый угол α относительно выбранной системы координат

$$\alpha = \frac{arctg\left(\frac{2K_k\sigma_X\sigma_Y}{\sigma_X^2 - \sigma_Y^2}\right)}{2}. \quad (8)$$

Определим полуоси эллипса рассеяния ЦЭН по выражениям

$$X = \sqrt{6\left(\sigma_X^2\ cos^2\alpha + K_k\sigma_X\sigma_Y\ sin\,2\alpha + \sigma_Y^2\ sin^2\alpha\right)}, \quad (9)$$

$$Y = \sqrt{6\left(\sigma_X^2\ sin^2\alpha - K_k\sigma_X\sigma_Y\ sin\,2\alpha + \sigma_Y^2\ cos^2\alpha\right)}. \quad (10)$$

Все приведенные выше формулы можно использовать для построения картограммы нагрузок и определения зоны рассеяния ЦЭН отдельного цеха. В этом случае исходными данными являются генеральный план цеха, мощности электроприемников цеха и их суточные графики нагрузок.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Получить задание у преподавателя. Исходные данные представить в виде таблицы.

2. Построить картограмму электрических нагрузок на генплане предприятия или цеха, в соответствии с вариантом задания.

3. Определить условный центр электрических нагрузок.

4. Построить эллипс рассеяния случайных координат ЦЭН.

5. Выбрать место расположения подстанции.

6. ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

В выводах по работе обосновать выбранное место расположения подстанции.

7. УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Составить отчет по лабораторной работе, в котором привести: цель работы, генеральный план предприятия (цеха), таблицу исходных данных, результаты вычислений и построений, выводы по работе.

8. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Почему оптимальному размещению подстанций на территории предприятия (цеха) уделяется особое внимание при проектировании системы электроснабжения?

2. Что понимают под картограммой электрических нагрузок?

3. Что понимают под условным центром электрических нагрузок?

4. Для чего определяют ЦЭН:

а) ЦЭН потребления активной мощности?

б) ЦЭН потребления реактивной мощности?

5. Охарактеризуйте методы определения ЦЭН.

6. Какие причины приводят к смещению ЦЭН?

7. Как учитывается разновременность действия нагрузки при определении ЦЭН?

8. Для чего определяют зону рассеяния ЦЭН?

9. Укажите факторы, влияющие на окончательный выбор места расположения подстанции.