



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Набережночелнинский институт (филиал)
федерального государственного автономного
образовательного учреждения
высшего образования
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»**

**Международная научно-практическая заочная конференция
«Диалог наук: единство знаний в эпоху перемен»,
посвященная 45-летию Набережночелнинского института КФУ**

**Сборник материалов
Международной научно-практической конференции
19 мая 2025 года**

Том 4

**Набережные Челны
2025**

Редакционный совет:

председатель редакционного совета: доктор технических наук, профессор Котиев Г.О.

сопредседатель редакционного совета: кандидат философских наук, Гусев В.Л.

сопредседатель редакционного совета: кандидат технических наук, доцент Башмаков Д.А.

Редакционная коллегия:

доктор технических наук, профессор Ильин А.Г.;

кандидат технических наук, доцент Ильин В.И.;

доктор технических наук, профессор Ильин Г.И.;

кандидат технических наук, доцент Насибуллин Р.Т.;

кандидат технических наук, доцент Галиакбаров А.Т.;

кандидат технических наук, доцент Гумеров А.З.;

кандидат технических наук, доцент, Илюхин А.Н.;

кандидат педагогических наук, доцент Устинова Н.Н.

кандидат экономических наук, доцент Лукьянова А.В.;

кандидат педагогических наук, доцент Никифорова Т.Г.;

кандидат физико–математических наук, доцент Матвеев С.Н.;

кандидат физико–математических наук, доцент Гордиевских Д.М.;

доктор педагогических наук, доцент, профессор Кириллова О.В.;

кандидат технических наук, доцент Крылов Д.А.;

доктор педагогических наук, профессор Кириллова Т.В.;

кандидат педагогических наук, психолог Нургатина О.Н.;

доктор педагогических наук, профессор Арефьева С.А.;

кандидат филологических наук, Чиркова С.В.

Ответственные редакторы:

кандидат педагогических наук, доцент Савицкий С.К.;

кандидат филологических наук, доцент Патенко Г.Р.

Редакторы конференции:

Савицкая Н.Н., Галимьянов А.Р., Сосновских К.И., Габдуллин А.И., Петров К.Н.,

Хайретдинов А.К., Мещеряков Д.О.

М43 Международная научно–практическая заочная конференция «Диалог наук: единство знаний в эпоху перемен» (19 мая 2025 года, Набережные Челны): сборник трудов конференции / под ред. Башмакова Д.А., Савицкого С.К. – Набережные Челны: Изд–во Набережночелнинского института (филиала) ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», 2025. Т. 4. - 103 с.

Сборник содержит материалы Международной научно–практической конференции «Диалог наук: единство знаний в эпоху перемен» по различным направлениям.

Для преподавателей, работников высших, средних профессиональных учебных заведений, аспирантов, магистрантов и студентов.

СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Дрогайлова Людмила Николаевна, Башмаков Дмитрий Александрович,

Савицкий Сергей Константинович, Савицкая Наталья Николаевна,

Петров Кирилл Николаевич

*Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ «Казанский (Приволжский)
федеральный университет» г.Набережные Челны*

Аннотация: В статье рассматривается иерархическая структура системы электроснабжения современного города, начиная от электроснабжающих сетей высокого напряжения (35-220 кВ) и заканчивая распределительными сетями низкого напряжения (0,4 кВ). Подробно описаны основные элементы системы: распределительные устройства (РУ, РП), трансформаторные подстанции (ТП, КТП, БКТП), их классификация, конструктивные особенности и способы присоединения. Особое внимание уделено современным тенденциям в проектировании компактных комплектных трансформаторных подстанций (КТП) для условий плотной городской застройки, включая подстанции наружного обслуживания и блочные исполнения (БКТП).

Ключевые слова : городское электроснабжение, трансформаторная подстанция (ТП), комплектная трансформаторная подстанция (КТП), распределительное устройство (РУ), распределительный пункт (РП), блочная КТП (БКТП), надежность электроснабжения.

STRUCTURE OF THE URBAN POWER SUPPLY SYSTEM

Drogailova Lyudmila Nikolaevna, Bashmakov Dmitry Alexandrovich,

Savitsky Sergey Konstantinovich, Savitskaya Natalya Nikolaevna,

Petrov Kirill Nikolaevich

*Naberezhnye Chelny Institute (branch) of the Federal State Autonomous
Educational Institution "Kazan (Volga Region) Federal University" Naberezhnye
Chelny*

Abstract: The article examines the hierarchical structure of the power supply system of a modern city, ranging from high-voltage supply networks (35-220 kV) to low-voltage distribution networks (0.4 kV). The main components of the system are described in detail: switchgears (RU, RP), transformer substations (TS, CTS, BCTS), their classification, design features, and connection methods. Special attention is paid to modern trends in the design of compact packaged transformer substations (CTS) for dense urban environments, including outdoor service substations and block-type designs (BCTS).

Keywords: urban power supply, transformer substation (TS), packaged transformer substation (CTS), switchgear (RU), distribution point (RP), block-type CTS (BCTS), power supply reliability.

Электрическую сеть города принято делить на следующие составные части:

- электроснабжающая сеть города напряжением 35-220 кВ;
- питающая электрическая сеть 10(6) кВ;
- распределительная электрическая сеть 10(6) кВ;
- распределительная сеть 380 В.

Электроэнергия в процессе передачи ее от электростанции до потребителей преобразуется один или несколько раз (по напряжению, роду тока или его частоты), и по мере приближения к потребителям распределяется на более мелкие потоки (осуществляется несколько ступеней распределения электроэнергии).

При описании систем электроснабжения часто используют обобщающие термины - источник питания и пункт приема электроэнергии.

От источника питания электроэнергия поступает на пункт приема электроэнергии.

Источник питания является относительным термином. Для центра питания источником питания является повысительная подстанция. Для пункта приема электрической энергии - центр питания и т. д.

Для приема, преобразования и распределения электроэнергии используют различные устройства (электроустановки):

- распределительные устройства (РУ)
- распределительные пункты (РП);
- подстанции
- трансформаторные подстанции (ТП);
- преобразовательные подстанции.

Целям приема, преобразования и распределения электроэнергии служат трансформаторные подстанции. Конкретно распределительные подстанции служат только для приема и распределения электроэнергии, но без преобразования.

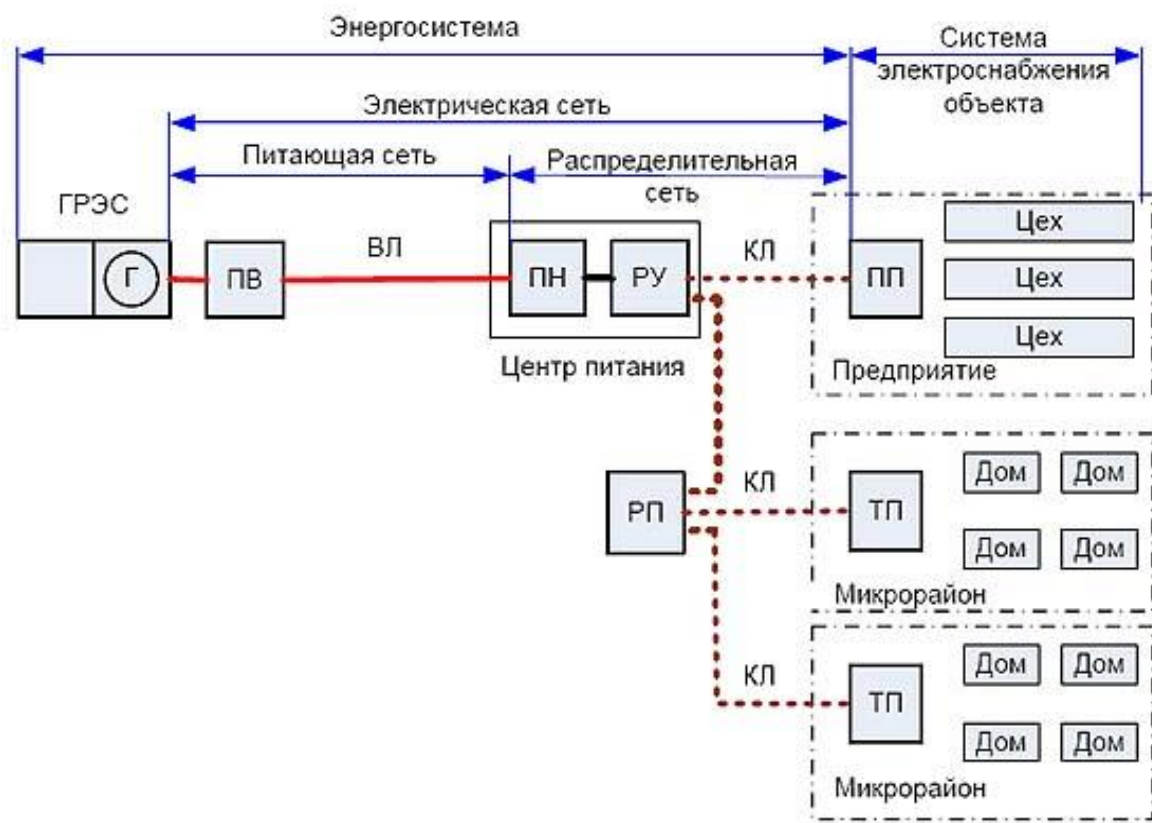


Рисунок 1 - Упрощенная структурная схема электроснабжения города:

ГРЭС - государственная районная электростанция; **Г** - генератор; **ПВ** - повысительная трансформаторная подстанция; **ПН** - понизительная трансформаторная подстанция; **РУ** - распределительное устройство 6-10 кВ; **РП** -распределительный пункт; **ПП** - пункт приема электроэнергии; **ТП** - трансформаторная подстанция; **ВЛ** - воздушная линия электропередачи; **КЛ** - кабельная линия электропередачи

К особенностям системы городского электроснабжения стоит отнести кучность расположения потребителей электроэнергии, основная категория надёжности потребителей энергии – вторая, поэтому в трансформаторных подстанциях 6(10)/0,4 кВ располагают по два силовых трансформатора. Схемы распределительных устройств РУВН и РУНН представляют собой секционированные рабочие шины, а между секциями устанавливается АВР. Загрузка силовых трансформаторов не должна превышать 80%. Компенсирующие установки могут быть установлены или в РУВН, или на распределительных подстанциях РП-6(10) кВ. Трансформаторные подстанции ТП имеют, в основном, подземные кабельные вводы и отходящие линии.

Трансформаторная подстанция (ТП) - это подстанция с первичным напряжением, равным 35 кВ, 10 кВ или 6 кВ, которая питает напряжением 230 и 400 В непосредственно приемники электроэнергии. Иначе эти подстанции, в электрических сетях промышленных объектов, именуют цеховыми подстанциями.

Способы присоединения трансформаторных подстанций к питающим линиям различны, и подразделяются подстанции по этому признаку на:

- Тупиковые трансформаторные подстанции;
- Проходные трансформаторные подстанции;
- Ответвительные трансформаторные подстанции.

На тупиковую подстанцию питание подается отдельной линией. Для питания тупиковых подстанций используются радиальные схемы питания, либо такая подстанция является последней в магистральной схеме с питанием односторонним.

Для проходных подстанций характерно включение в рассечку (в проход) магистральной линии питания, когда имеют место как вход, так и выход линии. Ответвительные подстанции подключаются через ответвления от питающих линий.



Рисунок 2 - Внешний вид трансформаторной подстанции 6-10-35/0,4 кВ

ТП классифицируются по большому количеству критериев:

- типу силового трансформатора (масляный, сухой);
- типу распределительного устройства высокого напряжения (далее РУВН) (проходной, тупиковый);
- способу выполнения трансформаторной нейтрали на низкой стороне (глухозаземленная, изолированная);
- условиям обслуживания (односторонние, двусторонние);
- числу трансформаторов (один, два и более);
- назначению шкафов распределительных устройств низкого напряжения (далее РУНН) (вводные, секционные, кабельные, шинные, линейные);
- выполнению высоковольтного ввода (шинный, кабельный, воздушный);
- способу установки автоматических выключателей в распределительных устройствах (далее РУ) (стационарные, выкатные, втычные);
- конструкционные (бетонные, сэндвичные, металлические);
- прочие.

ТП часто выполняют сегодня из комплектных трансформаторных подстанций. Число трансформаторов может здесь варьироваться. Когда питаются потребители 3 категории, то, как правило, устанавливается один трансформатор. Когда в районе сконцентрирована значительная мощность

нагрузки на 380 / 220 вольт, или когда питаются потребители 2 и 1 категорий, то трансформаторов ставится два.

Трансформаторные подстанции бывают сборными или комплектными. Комплектные трансформаторные подстанции, сокращенно КТП, состоят полностью из комплектных узлов. Их изготавливают на заводах, затем доставляют этими узлами на место установки, то есть демонтаж оборудования здесь не требуется. На месте уже блоки, узлы и присоединения монтируют, подключают к питающим сетям.



Рисунок 3 - Внешний вид двухтрансформаторной КТП

КТП широко применяются на производственных предприятиях, где их устанавливают внутри или снаружи (КТПН). Сборные подстанции изготавливают на заводах отдельными элементами, затем на месте элементы собирают и монтируют. В городских условиях наибольшее распространение получили блочные комплектные трансформаторные подстанции БКТП.

Любая трансформаторная подстанция включает в себя три главных блока:

- Распределительное устройство низшего напряжения;
- Трансформатор;
- Распределительное устройство высшего напряжения.

Зачастую для приема электроэнергии служат распределительные устройства высокого напряжения (РУВН), которые подают ее к трансформаторам. В некоторых случаях РУВН выполняют функции как

приема, так и распределения электрической энергии. Распределительные же устройства низкого напряжения (РУНН) всегда и везде осуществляют только прием и распределение электроэнергии.

При строительстве зданий и сооружений в центре городов с плотной застройкой возникают такие проблемы, как дефицит свободных площадей для размещения объектов инфраструктуры и высокая стоимость земельных участков. Эти обстоятельства зачастую серьезно затрудняют размещение комплектных трансформаторных подстанций (КТП), обеспечивающих электроснабжение возведенных объектов.

В данной ситуации сложно использовать традиционные комплектные двухтрансформаторные подстанции мощностью 250–1000 кВА в железобетонных контейнерах заводского изготовления, так как они занимают площадь порядка 22–24 м² без учета отмостки и зоны обслуживания.

У большинства отечественных производителей такие КТП состоят из двух отдельных блоков, в каждом из которых расположены силовой трансформатор, КРУ ВН и РУ НН. В этих подстанциях обычно предусмотрен общий коридор обслуживания для КРУ ВН и РУ НН.

В Европе в производстве аналогичных подстанций наметилась новая тенденция: многие компании переходят от изготовления КТП внутреннего обслуживания к КТП наружного обслуживания. Это решение имеет ряд преимуществ, в том числе таких важных, как уменьшение занимаемой площади и снижение стоимости при тех же технических характеристиках.

Подстанции типа «киоск» более сложны по своему устройству, состоят из нескольких отсеков, создающих условия для безопасного обслуживания и надежной эксплуатации. Обычно, заключаются в корпус из металла. Или размещаются в отдельно стоящих капитальных сооружениях. При наличии специально спроектированных помещений, могут размещаться в производственных и жилых зданиях.

«Электротехническая производственная компания» («Элпроком», г. Нижний Новгород) развивает перспективное направление европейского КТП-

строения и представляет новый продукт – двухтрансформаторную КТП наружного обслуживания. Компания разработала техническую документацию, изготовила образцы и подготовила производство к выпуску комплектной двухлучевой двухтрансформаторной подстанции в железобетонном контейнере (2КТП-БК) с мощностью трансформаторов до 630 кВА наружного обслуживания.



Рисунок 4 - Двухлучевая двухтрансформаторная КТП наружного обслуживания в железобетонном контейнере (2КТП-БК)

Всё электрооборудование новой КТП расположено в одном железобетонном контейнере габаритом 2500×4500 мм. КРУ ВН рассчитано на 4 присоединения к каждой секции шин: ввод, отходящая линия, силовой трансформатор, секционная. Оборудование КРУ – ячейки с элегазовыми выключателями нагрузки. РУ НН состоит из панелей ПРЩ-01 на 6 отходящих линий в каждой секции шин на номинальный ток 400 А. 2КТП-БК может быть изготовлена с дополнительными опциями:

- АВР на вводах 0,4 кВ;
- учет электроэнергии на вводах 0,4 кВ;
- учет электроэнергии на отходящих линиях;
- сигнализация о несанкционированном открывании дверей КТП;
- установка указателей направления прохождения тока короткого замыкания типа УТКЗ на кабелях ввода и отходящей линии на стороне ВН.

Основные технические характеристики 2КТП-БК приведены в табл.1.

Таблица 1 – Основные технические характеристики КТП-БК

Мощность трансформаторов, кВА	250; 400; 630
Количество трансформаторов, шт.	2
Напряжение на стороне ВН, кВ	6; 10
Напряжение на стороне НН, кВ	0,4

Предложенный вариант позволяет сократить в 2 раза площадь, занимаемую КТП, и снизить стоимость на 12–15% относительно традиционного варианта.

БКТП представляет собой блочно-модульную комплектную трансформаторную подстанцию, которая состоит из полностью укомплектованного бетонного блока, подземного модуля и маслоприемника. Измерение и учет электрической энергии осуществляется при помощи имеющихся вольтметра, амперметров, счетчика активной/реактивной энергии, либо каких-то других приборов, выполненных по желанию заказчика. Подстанции БКТП обеспечивают прием, преобразование и распределение электроэнергии в трехфазных электроустановках переменного тока. Подстанция служит для обеспечения электроэнергией городских, сельских, промышленных, бытовых, коммунальных объектов, индивидуальных застроек. Различают два вида БКТП :

- однотрансформаторные;
- двухтрансформаторные.

К важнейшим преимуществам подобных комплектных подстанций относятся:

- полная заводская готовность к работе, с оборудованием и наружной/внутренней отделкой;
- долговечность и прочность корпуса;
- простая конструкция, удобный монтаж;
- высокая надежность электрического оборудования;
- возможность использования трансформаторов любого типа: (ТМ, ТМГ, ТСЗ, ТМЗ);

- долгий эксплуатационный срок (в среднем, 25 лет).

В БКТП используется современное оборудование с недоступными для персонала токоведущими частями при проверке напряжения и правильности фаз. Надежная система заземления обеспечивает простой и удобный доступ к подключению контактов. Внутренний контур заземления располагает местами для подключения переносных заземлений. Для всего оборудования имеются пояснительные надписи, плакаты и условные обозначения.

БКТП гарантирует безопасность подключения измерительных или осветительных приборов (12 и 220 В). Имеются резиновые диэлектрические коврики для отсека с оборудованием, а также переносная деревянная подставка, используемая при замене ламп освещения.

К обслуживанию подстанцией должен допускаться только специально обученный квалифицированный техперсонал, знающий особенности эксплуатации и конструкцию БКТП.

В силу своей востребованности на территории Российской Федерации и ближнего зарубежья, компания ООО «ЭМС» г. Казань постоянно развивает свою технологическую базу производство БКТП и повышает объем выпускаемых подстанций.

Блочные комплектные трансформаторные подстанции (БКТП) наружной установки мощностью от 250 до 1600 кВА различных типов, предназначены для приема, преобразования и распределения электрической энергии трехфазного тока частотой 50 Гц напряжением 10(6) кВ, преобразования в электрическую энергию напряжением 0,4 кВ. Подстанции применяются для электроснабжения потребителей собственных нужд промышленных предприятий, в городских электрических сетях и других объектах различного назначения. Подстанции имеют широкую гамму схем главных и вспомогательных цепей для вводов рабочего и резервного питания, секционирования и управления как местного, так и дистанционного.

По заказу потребителей ООО «ЭМС» может изготовить подстанции БКТП любой конфигурации и любого типа, поставив составные части БКТП - шкафы ввода, линейные шкафы, шинные перемычки, релейные блоки, трансформаторы и т.д. Отличительной чертой является высокая прочность и долговечность корпуса в сочетании с современными архитектурными решениями. БКТП в бетонной оболочке состоит из:

1. Объемного блока трансформаторной подстанции (ОБТП). ОБТП укомплектован системами освещения, отопления, охранно-пожарной сигнализации (ОПС), вентиляции (естественной – по умолчанию, принудительной – по требованию заказчика);

2. Объемного железобетонного фундаментного блока кабельного (ФБК или приямок кабельный), выполняющего роль фундамента и кабельного канала для подключения линий 10(6) и 0,4 кВ;

3. Силового трансформатора (масляного (ТМГ, ТМ) или сухого (ТС, ТСЛ)) от 63 до 1600 кВА;

4. Оборудования РУ-10(6) кВ. Компания «ЭМС» в качестве оборудования по стороне высокого напряжения применяет самое современное оборудование наиболее востребованных в Российской Федерации производителей – моноблоки RM-6 (Schneider Electric), моноблоки Safe Ring (ABB), камеры сборные одностороннего обслуживания КСО (2-й и 3-й серии). По требованию заказчика компания «ЭМС» готова применять по стороне высокого напряжения оборудование любых типов и производителей, прошедших соответствующую регистрацию и сертификацию на территорию Российской Федерации.

5. Оборудования РУ-0,4 кВ. Компания «ЭМС» в качестве оборудования по стороне низкого напряжения применяет шкафы ГРЩ, НКУ, ЩО-70М (с автоматическим вводом резерва (АВР) и без) собственного производства, собранные на комплектующих наиболее востребованных в Российской Федерации производителей:

- выключатели автоматические (стационарные и выкатные) серии Tmax, Emax, рубильники планочные с предохранителями типа XLBM, выключатели нагрузки серии OT, OETL и другое оборудование компании ABB;
- выключатели автоматические (стационарные и выкатные) серии NSX, NWX и другое оборудование компании Schneider Electric;
- выключатели автоматические (стационарные и выкатные) серии DMX и другое оборудование компании Legrand;
- рубильники планочные с предохранителями типа ARS и другое оборудование компании Apator;
- рубильники планочные с предохранителями и другое оборудование компании Jean Muller;
- выключатели автоматические (стационарные и выкатные) серии BA, Electron, Proton компании «Контактор» (г. Ульяновск).

По требованию заказчика компания «ЭМС» готова применять в шкафах РУ-0,4 кВ собственного производства оборудование любых типов и производителей, прошедших соответствующую регистрацию и сертификацию на территорию Российской Федерации.

6. По требованию заказчика компания «ЭМС» укомплектовывает БКТП собственного производства также и иным оборудованием, предусмотренным соответствующим проектом – установками компенсации реактивной мощности УКРМ/АУКРМ, системами молниезащиты и другим оборудованием.

2хБКТП состоит из двух аналогичных БКТП, соединенных между собой секционными переключателями. Технические данные БКТП приведены в табл.2. Одним из последних достижений компании стала возможность производства подстанции БКТП с увеличенной с 2170 до 2400 мм высотой внутреннего помещения, благодаря чему появилась возможность размещения КСО с вакуумными выключателями марки КСО-292 или его аналогов.

Таблица 2 - Основные технические данные и характеристики БКТП

1	Посадочные габаритные размеры одного ОБТП (Длина x Ширина x Высота)	5240 x 2500 x 2450 (2650)
2	Транспортные габаритные размеры одного ОБТП (Длина x Ширина x Высота)	5430 x 2550 x 2690 (2890)
3	Мощность силового трансформатора, кВА	от 63 до 1600
4	Масса* ОБТП (без силового трансформатора) не более, т	10,5
5	Масса* ФБК (прямка кабельного) не более, т	8
6	Масса* силового трансформатора не более, т	4
7	Высота над уровнем моря, м	до 1000
8	Сейсмичность площадок установки по шкале Рихтера, не более, баллов	8
9	Температура окружающего воздуха, °С	От - 40 до +40
10	Категория размещения по ГОСТ 15150-69	1
11	Окружающая среда взрыво- и пожаробезопасная, не содержащая токопроводящей пыли, химически активных газов и испарений разрушающих металлы и изоляцию.	

* - масса одной единицы

Питающие и отходящие линии выполняются кабелем. Кабельный ввод осуществляется из грунта через кабельное сооружение. При необходимости подключения блочной комплектной трансформаторной подстанции к воздушной линии (ВЛ) применяется кабельная вставка с изоляцией из сшитого полиэтилена с выходом на опору ВЛ.

Схема расположения электрооборудования в двухтрансформаторной БКТП приведено на рис. 5.

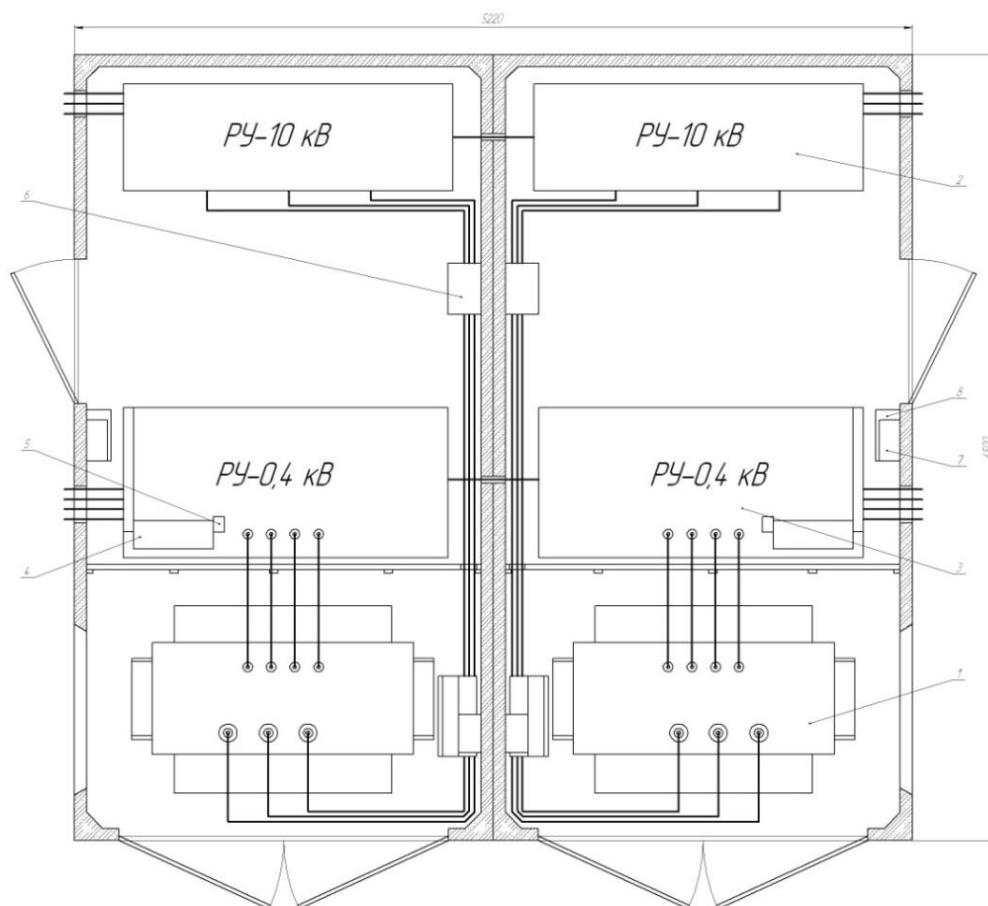


Рисунок 5 - Расположение электрооборудования в двухтрансформаторной БКТП



Рисунок 6 - Блочные комплектные трансформаторные подстанции в бетонной оболочке

Выпускаются Блочные комплектные трансформаторные подстанции в бетонной оболочке БКТПБ фирмы «ИНВЭЛ» нескольких видов:

- однострансформаторные электрические подстанции
- двухтрансформаторные электрические подстанции
- распределительные электрические подстанции (БКРТПБ «ИНВЭЛ»).

БКРТПБ могут состоять из практически неограниченного количества состыкованных **модулей**, имеющих общий коридор обслуживания.

- **двухэтажная подстанция (2э2БКТПБ «ИНВЭЛ»)**

Применение двухэтажных подстанций является оптимальным решением как с технической, так и с экономической точек зрения за счет снижения сроков строительства, монтажа и пуско-наладки в случаях малой земельной площади, отведенной под строительство подстанции из-за плотности застройки или, если необходимо вписаться в земельный участок при демонтаже существующей подстанции с целью увеличения количества и мощности силовых трансформаторов, числа отходящих линий.



Рисунок 7 - Двухэтажная подстанция в бетонной оболочке

- **малогабаритные подстанции (МБКТПБ «ИНВЭЛ»)**

Мощность таких БКТПБ ограничена и составляет от 25 до 630 кВА. Габаритные размеры не превышают 3000х2480х2970 (ШхДхВ). Данная подстанция является идеальным вариантом в случаях ограниченной застройки.

- **тяговые подстанции для электроснабжения наземного транспорта (ТБТПБ «ИНВЭЛ»)**

На базе БКТПБ реализуются тяговые подстанции для наземного электрического транспорта (трамваи, троллейбусы, ж/д). При этом тяговые подстанции на базе БКТПБ позволяют существенно сократить площадь застройки, капитальные вложения, сроки монтажа и ввода в эксплуатацию. Таким образом, тяговые подстанции на базе БКТПБ являются наиболее приемлемым решением, особенно при размещении в черте населенных пунктов. При одноагрегатном исполнении здание БКТПБ состоит из 7 модулей, количество агрегатов может достигать - 3, с пропорциональным увеличением количества применяемых модулей.

- **подземная подстанция (ПБКТПБ «ИНВЭЛ»)**

В густонаселенных районах современных городов трудно найти место для новых подстанций. Пространство для строительства ограничено настолько, что их можно установить лишь рядом с жилыми домами или под землей. Подземные трансформаторные подстанции как раз и решают эту проблему.

Подземную подстанцию можно смонтировать в любом подходящем месте: в парке, под детской площадкой, в подвале и т. д. Это будет безопасным решением как для людей, так и для окружающей среды.

Распределительным устройством (РУ) называют электроустановку, служащую для приема и распределения электроэнергии и содержащую коммутационные аппараты, сборные и соединительные шины, вспомогательные устройства (компрессорные, аккумуляторные и др.), а также устройства защиты, автоматики и измерительные приборы.

Распределительные устройства электроустановок предназначены для приема и распределения электричества одного напряжения для дальнейшей

передачи потребителям, а также для питания оборудования в пределах электроустановки.

Если все или основное оборудование РУ расположено на открытом воздухе, оно называется открытым (ОРУ): при его расположении в здании - закрытым (ЗРУ). Распределительное устройство, состоящее из полностью или частично закрытых шкафов и блоков со встроенными в них аппаратами, устройствами защиты и автоматики, поставляемое в собранном или полностью подготовленном для сборки виде называют комплектным и обозначают для внутренней установки КРУ, для наружной - КРУН.

Центр питания - распределительное устройство генераторного напряжения или распределительное устройство вторичного напряжения понизительной подстанции, к которому присоединены распределительные сети данного района.

Распределительные устройства (РУ) классифицируют по нескольким критериям, ниже приведем их виды и особенности конструкции.

Распределительные устройства до 1000 В

Распределительные устройства до 1000 В выполняются, как правило, в помещениях в специальных шкафах (щитах). В зависимости от назначения распределительные устройства 220/380 В (класс напряжения 0,4кВ) могут быть выполнены для питания потребителей либо исключительно для собственных нужд электроустановки.

Конструктивно **распределительные устройства 0,4 кВ** имеют защитные аппараты (автоматические выключатели, плавкие предохранители), рубильники, выключатели-разъединители и соединяющие их сборные шины, а также клеммные колодки для подключения кабельных линий потребителей.

Помимо силовых цепей в низковольтных щитах может быть установлен ряд дополнительных устройств и вспомогательных цепей, а именно:

- приборы учета электроэнергии и трансформаторы тока;
- цепи индикации и сигнализации положения коммутационных аппаратов;

- измерительные приборы для контроля напряжения и тока в различных точках распределительного устройства;
- устройства сигнализации и защиты от замыканий на землю (для сетей конфигурации IT);
- устройства автоматического ввода резерва;
- цепи дистанционного управления коммутационными аппаратами с моторными приводами.

К низковольтным распределительным устройствам можно также отнести щиты постоянного тока, осуществляющие распределение постоянного тока от преобразователей, аккумуляторных батарей для питания оперативных цепей электрического оборудования и устройств релейной защиты и автоматики.



Рисунок 8 - Внешний вид шкафов КРУ

Высоковольтные распределительные устройства

Распределительные устройства класса напряжения выше 1000 В могут быть выполнены, как вне помещений – **открытого типа (ОРУ)**, так и внутри помещений – **закрытого типа (ЗРУ)**.

В закрытых распределительных устройствах оборудование размещается **в сборных камерах одностороннего обслуживания КСО** либо в **комплектных распределительных устройствах типа КРУ**.

Камеры типа КСО более предпочтительны для помещений ограниченной площади, так как они могут устанавливаться вплотную к стене либо друг к другу задними стенками. Камеры КСО имеют несколько отсеков, закрытых сетчатыми ограждениями либо сплошными дверцами.

КСО комплектуются различным оборудованием, в зависимости от их назначения. Для питания отходящих линий в камеру устанавливается высоковольтный выключатель, два разъединителя (со стороны шин и со стороны линии), трансформаторы тока, на лицевой стороне размещаются рычаги управления разъединителями, привод выключателя, а также низковольтные цепи и устройства защиты, реализованные для защиты и управления данной линией.

Камеры данного типа могут быть укомплектованы трансформаторами напряжения, разрядниками (ограничителями перенапряжения), предохранителями.

Распределительные устройства типа КРУ представляют собой шкаф, разделенный на несколько отсеков: трансформаторов тока и отходящего кабеля, сборных шин, выкатная часть и отсек вторичных цепей.

Каждый отсек изолирован друг от друга для обеспечения безопасности при обслуживании и эксплуатации оборудования шкафов КРУ. Выкатная часть шкафа, в зависимости от назначения присоединения может быть укомплектована выключателем, трансформатором напряжения, разрядниками (ОПН), трансформатором собственных нужд.

Выдвижной элемент относительно корпуса шкафа может занимать рабочее, контрольное (разобщенное) или ремонтное положение. В рабочем положении главные и вспомогательные цепи замкнуты, в контрольном - главные цепи разомкнуты, а вспомогательные замкнуты (в разобщенном последние разомкнуты), в ремонтном - выдвижной элемент находится вне корпуса шкафа и его главные и вспомогательные цепи разомкнуты. Усилие, необходимое для перемещения выдвижного элемента, не должно превышать 490 Н (50 кгс). При выкатывании выдвижного элемента проемы к

неподвижным разъемным контактам главной цепи автоматически закрываются шторками.

Токоведущие части КРУ выполняются, как правило, шинами из алюминия или его сплавов; при больших токах допускается применение медных шин, при номинальных токах до 200 А - стальных. Монтаж вспомогательных цепей производится изолированным медным проводом сечением не менее 1,5 кв. мм, присоединение к счетчикам - проводом сечением 2,5 кв. мм, паяные соединения - не менее 0,5 кв. мм. Соединения, подвергающиеся изгибам и кручению, выполняются, как правило, многожильными проводами.

Гибкая связь вспомогательных цепей стационарной части КРУ с выдвижным элементом осуществляется с помощью штепсельных разъемов.

Шкафы КРУ, а также заземляющие ножи должны удовлетворять требованиям по электродинамической и термической стойкости к сквозным токам короткого замыкания. Для обеспечения требований по механической стойкости регламентировано количество циклов, которые должны выдерживать шкафы КРУ и его элементы: разъемные контакты главных и вспомогательных цепей, выдвижной элемент, двери, заземляющий разъединитель. Количество циклов включения и отключения встроенного комплектующего оборудования (выключатели, разъединители и др.) принимается в соответствии с ПУЭ.

Для обеспечения безопасности шкафы КРУ снабжаются рядом блокировок. После выкатывания выдвижного элемента все токоведущие части главных цепей, которые могут оказаться под напряжением, закрываются защитными шторками. Эти шторки и ограждения не должны сниматься или открываться без помощи ключей или специальных инструментов.

В шкафах КРУ стационарного исполнения предусматривается возможность установки стационарных или инвентарных перегородок для отделения частей оборудования, находящихся под напряжением. Не допускается использовать для заземления болты, винты, шпильки,

выполняющие роль крепежных деталей. В местах заземления должны быть надпись «земля» или знак заземления.

Вид шкафа КРУ определяется схемой главной цепи КРУ. Основным электрическим аппаратом, определяющим конструкцию шкафа, является выключатель: применяются маломасляные, электромагнитные, вакуумные и элегазовые выключатели. Схемы вторичных цепей чрезвычайно разнообразны и полностью пока не унифицированы.

Комплектные устройства могут иметь различную конструкцию, например, с элегазовой изоляцией – **КРУЭ** либо **предусмотренные для наружной установки – КРУН**, которые можно монтировать вне помещений.

Распределительные устройства открытого типа предусматривают установку электрического оборудования на металлических конструкциях, на бетонных фундаментах, без дополнительной защиты от внешних воздействий. Вспомогательные цепи оборудования ОРУ монтируют в специальных шкафах, имеющих защиту от механических воздействий и влаги.

Распределительные устройства, как закрытого, так и открытого типов классифицируются по нескольким критериям, в зависимости от их конструктивного исполнения (схемы).

Первый критерий – способ выполнения секционирования. Различают распределительные устройства с секциями шин и системами шин. Секции шин предусматривают питание каждого отдельного потребителя от одной секции, а системы шин позволяют переключать одного потребителя между несколькими секциями. Секции шин соединяются секционными выключателями, а системы шин – шиносоединительными. Данные выключатели позволяют запитывать секции (системы) друг от друга в случае потери питания на одной из секций (систем).

Второй критерий – наличие обходных устройств – одной или нескольких обходных систем шин, которые позволяют выводить в ремонт элементы оборудования без необходимости обесточивания потребителей.

Третий критерий – схема питания оборудования (для открытых РУ).

В данном случае возможно два варианта схемы – радиальная и кольцевая. Первая схема упрощенная и предусматривает питание потребителей через один выключатель и разъединители от сборных шин. При кольцевой схеме питание каждого потребителя осуществляется от двух-трех выключателей. Кольцевая схема более надежная и практичная в плане обслуживания и эксплуатации оборудования.

Как правило, в распределительных сетях 6-10 кВ применяются **силовые трансформаторы** с масляной изоляцией. Они имеют как свои преимущества, так и недостатки. Трансформаторы с масляной изоляцией обладают высокой перегрузочной способностью (ГОСТ 14209-85), но требуют постоянного обслуживания, связанного с контролем качества масла.

В последние годы технологии производства сухих трансформаторов ушли далеко вперед. Перегрузочная способность сухих трансформаторов меньше, чем у масляных, однако сухие трансформаторы не требуют обслуживания. На ТП, где трансформаторы не подвергаются большим перегрузкам, рекомендуется установить трансформаторы с сухой изоляцией.

В городских распределительных сетях 6-10 кВ следует применять трансформаторы со схемой соединения обмоток звезда-зигзаг или треугольник-звезда.

Список литературы

1. Алиев, И.И. Электротехника и электрооборудование : справ./ И. И. Алиев. - М.: Высш. шк., 2010. -1199 с.
2. Балаков, Юрий Николаевич. Проектирование схем электроустановок: учеб. пособие: доп. УМО / Ю. Н. Балаков, М. Ш. Мисриханов, А. В. Шунтов. - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2004. - 288 с. : рис., табл. - Библиогр.: с. 286 .
3. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие/ Е.А.Конюхова. - М.: Мастерство, 2002. -319 с.

4. Коробов, Г. В. Электроснабжение. Курсовое проектирование : учеб. пособие / Г. В. Коробов, В. В. Картавец, Н. А. Черемисинова. - 2-е изд., испр. - СПб. : Лань, 2011. - 192 с.
5. Кудрин Б.И. Системы электроснабжения [Текст] : учеб. пособие. : рек. УМО / Б. И. Кудрин. – М.: Издат. центр Академия, 2011. - 352 с.
6. Кужеков, С.Л. Практическое пособие по электрическим сетям и электрооборудованию / С. Л. Кужеков, С. В. Гончаров. - 3-е изд. - Ростов н/Д : Феникс, 2009. - 493 с. : ил. - (Профессиональное мастерство). - Библиогр.: с. 480.
7. Мясоедов Ю.В. Электрическая часть станций и подстанций: учеб. пособие: рек. ДВ РУМЦ / Ю. В. Мясоедов, Н. В. Савина, А. Г. Ротачева, 2007. - 192 с.
8. Ополева, Г. Н. Схемы и подстанции электроснабжения: справ.: учеб. пособие: рек. УМО / Г. Н. Ополева. - М. : ФОРУМ : ИНФРА - М, 2006. - 480 с. : рис., табл. - Библиогр.: с. 473 .
9. Основы современной энергетики. Часть 2. Современная электроэнергетика : Учеб. : рек. Мин. обр. РФ/ под ред. Е.В. Аметистова. – М.: Издат. дом МЭИ, 2010. – 632 с.
10. Справочник по проектированию электрических сетей [Текст] / под ред. Д. Л. Файбисовича. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : ЭНАС, 2009. - 391 с.
11. Справочник по энергоснабжению и электрооборудованию предприятий и общественных зданий / ред. С. И. Гамазин, Б. И. Кудрин, С. А. Цырук. – М.: Издат. дом МЭИ, 2010. – 745 с.
12. Фортов, В. Е. Энергетика в современном мире [Текст] / В. Е. Фортов, О. С. Попель. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 168 с.
13. Электротехнический справочник: в 4 т. / Под общ. ред. В.Г. Герасимов, Под общ. ред. А.Ф. Дьяков, Под общ. ред. Н.Ф. Ильинский, Гл. ред. А.И. Попов. - 8-е изд., испр. и доп. - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2002. Т. 3 : Производство, передача и распределение электрической энергии : справочное издание. - 2002. - 964 с.

СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ

Дрогайлова Людмила Николаевна, Башмаков Дмитрий Александрович,

Савицкий Сергей Константинович, Савицкая Наталья Николаевна,

Петров Кирилл Николаевич

*Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ «Казанский (Приволжский)
федеральный университет» г.Набережные Челны*

Аннотация: Статья посвящена принципам построения и схемам электроснабжения жилых и общественных зданий. Рассмотрены радиальные, магистральные и смешанные схемы распределения электроэнергии внутри здания. Описаны роли и место вводно-распределительных устройств (ВРУ), главных распределительных щитов (ГРЩ), групповых щитков и стояков. Приведены примеры принципиальных схем электроснабжения многоэтажных жилых домов с учетом категорий надежности электроприемников, устройства автоматического ввода резерва (АВР) и разделения питающих линий для потребителей различной категории важности. Также затронуты вопросы электроснабжения высотных зданий и зарубежный опыт.

Ключевые слова: схема электроснабжения, жилое здание, вводно-распределительное устройство (ВРУ), главный распределительный щит (ГРЩ), категория надежности, автоматический ввод резерва (АВР), стояк, питающая линия.

BUILDING POWER SUPPLY SCHEMES

Drogailova Lyudmila Nikolaevna, Bashmakov Dmitry Alexandrovich,

Savitsky Sergey Konstantinovich, Savitskaya Natalya Nikolaevna,

Petrov Kirill Nikolaevich

*Naberezhnye Chelny Institute (branch) of the Federal State Autonomous
Educational Institution "Kazan (Volga Region) Federal University" Naberezhnye
Chelny*

Abstract: The article is devoted to the principles and schemes of power supply for residential and public buildings. Radial, main, and combined schemes for the distribution of electricity within a building are considered. The roles and locations of input distribution devices (IDU), main distribution boards (MDB), group panels, and risers are described. Examples of schematic diagrams for multi-story residential buildings are provided, taking into account the reliability categories of electrical receivers, automatic transfer switch (ATS) devices, and the separation of supply lines for consumers of different importance categories. The issues of power supply for high-rise buildings and foreign experience are also touched upon.

Keywords: power supply scheme, residential building, input distribution device (IDU), main distribution board (MDB), reliability category, automatic transfer switch (ATS), riser, supply line.

Схема распределения электроэнергии в здании зависит от напряжения сети, уровня электрических нагрузок, надежности электроснабжения, экономичности, простоты и удобства эксплуатации, а также конструктивных особенностей здания. Схема электросети здания должна обеспечивать правильное функционирование как сети в целом, так и отдельных ее звеньев в нормальном и аварийном режимах и, в частности, гарантировать соответствующий уровень напряжения на зажимах электроприемников. При этом имеется в виду, что качественные параметры самой электроэнергии, зависящие от энергосистемы, поддерживаются последней в должных пределах.

В нашей стране распространено наиболее экономичное напряжение сети 380/220 В при глухом заземлении нейтралей питающих трансформаторов, в отдельных случаях в городах со старой застройкой еще применяется напряжение 220/127 В. Главной причиной перехода на более высокое напряжение является непрерывный рост электрических нагрузок, вызывающий необходимость резкого увеличения пропускной способности электрических сетей.

Требования к схеме распределения электроэнергии в здании регламентируются ПУЭ, согласно которым все электроприемники подразделяются в отношении обеспечения надежности электроснабжения на три категории.

Электроприемники жилых зданий:

1. электроприемники квартир:
 - осветительные электроприборы;
 - бытовые электроприборы;
2. нагревательные;
3. хозяйственные;
4. культурно-бытовые;
5. санитарно-гигиенические;
6. электроприемники общедомового назначения:
 - осветительные электроприемники;
7. светильники лестничных клеток, технических подполий, чердаков, вестибюлей, холлов, служебных и других помещений;
 - силовые электроприемники;
8. лифтовые установки;
9. вентиляционные системы;
10. противопожарные устройства.

Электроприемники общественных зданий :

11. осветительные электроприемники;
12. силовые электроприемники:
 - механическое оборудование;
 - электротепловое оборудование;
 - холодильные машины;
 - подъемно-транспортное оборудование;
 - санитарно-технические установки;
 - приточно-вытяжные вентиляционные установки и системы кондиционирования воздуха;
- системы связи и сигнализации;

- противопожарные устройства и др.

Требования к надежности электроснабжения должны учитываться в первую очередь при построении схемы электрической сети. Решение схем, выбранных из условий надежности, как правило, многовариантно. Поэтому важным критерием выбора той или иной схемы, является ее экономичность как по приведенным затратам, так и по расходу цветного металла.

Удобство эксплуатации систем электроснабжения должно учитываться наравне с ее экономичностью и проявляться в ее простоте. Схему сети необходимо строить так, чтобы поврежденный участок сети или ее отдельный элемент мог быть легко обнаружен и заменен при минимальном отключении от сети потребителей.

Конструктивные особенности здания существенно влияют на построение схемы электрической сети. Наиболее распространена радиальная схема энергоснабжения потребителей, предусматривающая подводу к каждому жилому дому отдельной питающей линии от трансформаторной подстанции. Резервную перемычку подключают для питания жилых домов в случае выхода из строя любой из питающих линий и используют для выполнения профилактических работ на линиях без отключения питания жилых домов.

Более совершенной и экономичной схемой электроснабжения жилых домов является схема с переключателями на вводах зданий, поскольку питание жилых домов в аварийном режиме осуществляется от одной линии кратчайшим путем. Она предусматривает подключение в случае повреждения любой из линий питания потребителя по исправной линии, оставшейся в работе.

В здании устанавливают вводно-распределительное устройство (ВРУ) или главный распределительный щит (ГРЩ), предназначенные:

- для приема электроэнергии (к ВРУ или ГРЩ присоединяют внешнюю питающую кабельную линию, идущую от трансформаторной подстанции);
- распределения электрической энергии по электроприемникам здания (к ВРУ присоединяют электрическую сеть здания);

- для защиты от перегрузок и короткого замыкания отходящих от ВРУ линий. Защита осуществляется с помощью установленных в ВРУ предохранителей или автоматических выключателей.

ВРУ является также точкой разграничения ответственности за эксплуатацию электрических сетей между персоналом электроснабжающей организации и персоналом потребителя (абонента).

Конструктивно ВРУ выполняют в виде многошкафных устройств или шкафов одностороннего или двухстороннего обслуживания, а также в виде ящиков.

ВРУ являются комплектными электрическими устройствами заводского изготовления. ВРУ устанавливают в специальном (электрощитовом) помещении, доступ в который имеет только обслуживающий персонал. Допускается устанавливать ВРУ не в специальных помещениях, а на лестничных клетках, в коридорах и т.д., но при этом шкафы (ящики) должны запираются, рукоятки аппаратов управления не выводиться наружу или быть съемными. Кабели внешней питающей линии вводят снизу.

В электрической сети здания различают следующие линии и сети (см. рис. 1):

13. питающие:

- (силовые) питающие линии от ВРУ здания до силовых распределительных пунктов;
- (осветительные) питающие линии от ВРУ здания до групповых щитков освещения.

14. распределительные:

- линии от силовых распределительных пунктов до силовых электроприемников

15. групповые:

- линии, идущие от групповых щитков освещения до светильников.

Каждую питающую или распределительную линию можно выполнить по радиальной, магистральной или радиально-магистральной (смешанной) схеме. На рис. 1 силовой распределительный пункт СРП, групповой щиток освещения ЩО1, электроприемники 1, 2 и 6 подсоединены по радиально-магистральной

схеме. Групповые щитки освещения ЩО3, ЩО4, электроприемники 4, 5 и светильники подсоединены по магистральной схеме (включены в цепочку).

Радиальная схема обеспечивает более высокую надежность питания отдельных потребителей, т. к. при аварии питающей линии прекращает работать только один электроприемник. При этом электроприемники других линий продолжают нормальную работу.

В осветительных сетях радиальная схема питания почти не применяется из-за высокой стоимости ее сооружения.

По направлению прокладки питающие линии делят:

- на горизонтальные;
- стояки (вертикальные).

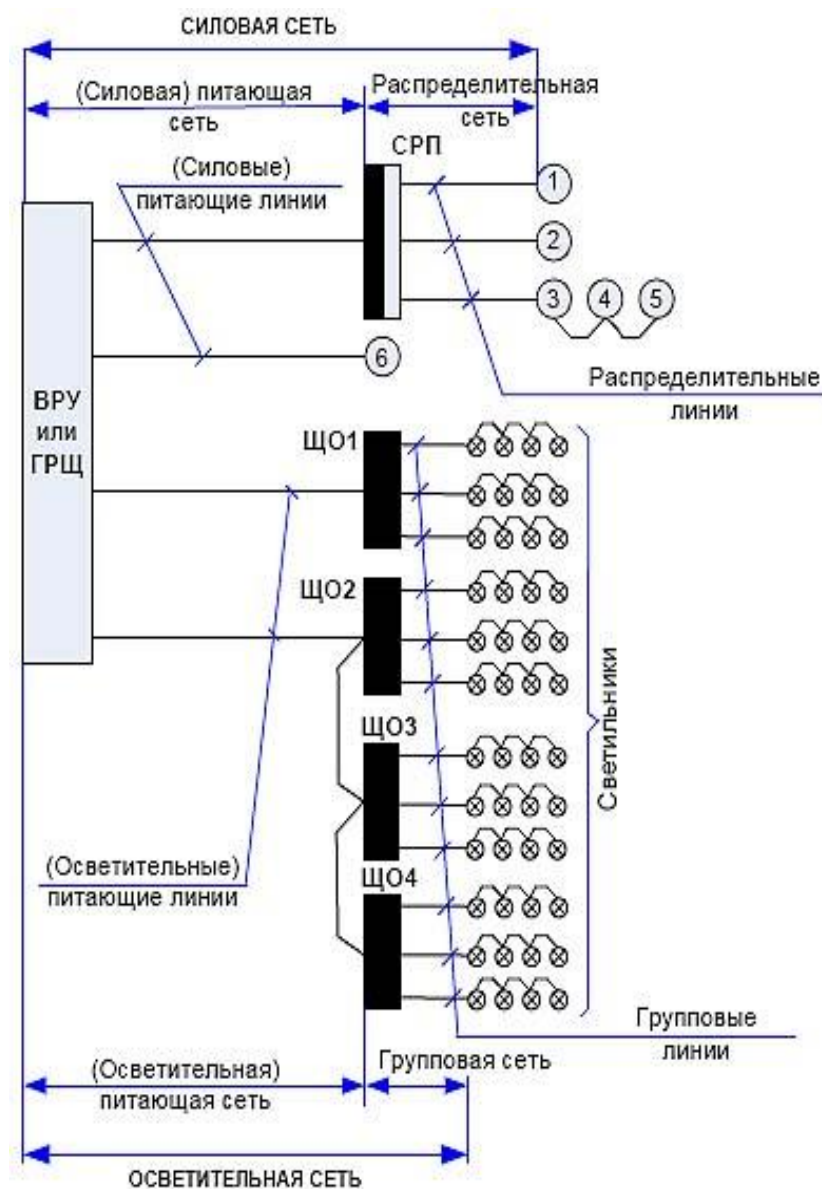


Рисунок 1 - Структурная схема электрической сети здания:

ВРУ - вводно-распределительное устройство; **ГРЩ** - главный распределительный щит; **СРП** - силовой распределительный пункт; **ЩО1...ЩО3** - (групповые) щитки освещения; **1...6** - силовые электроприемники (в основном асинхронные электродвигатели)

Для электроснабжения квартир от ВРУ отходят питающие линии, состоящие из горизонтальных и вертикальных (стояков) участков. К горизонтальному участку каждой линии могут присоединяться один или несколько стояков. Однако следует учитывать, что при коротком замыкании на одном из стояков сработает защита на ВРУ и питающая линия отключится, при этом большое количество квартир останется без питания. Поэтому для повышения надежности питания квартир, а также для удобства выполнения ремонтных работ следует на каждом ответвлении к стояку устанавливать отключающий и защитный аппарат. Кроме линий, питающих квартиры, от ВРУ отходят внутридомовые линии, питающие освещение холлов, лестниц, коридоров, а также электродвигатели лифтов, насосов, вентиляторов и электроприемников системы дымозащиты. Принципиальная схема электроснабжения многоэтажного односекционного жилого дома приведена на рис.2.

Как видно из схемы, питание электроприемников здания осуществляется двумя взаиморезервируемыми кабелями 1, рассчитанными на питание (в аварийном режиме) всех его нагрузок. При выходе из строя одного из питающих кабелей все электроприемники с помощью переключателей 2, установленных на панели ВРУ, подключаются к кабелю, оставшемуся в работе. Для защиты панелей ВРУ от короткого замыкания на вводах установлены плавкие предохранители 3.

Для учета расхода электроэнергии от электроприемников общественного назначения (рабочее освещение лестничных клеток, подвала, чердака, домовых помещений и силовые потребители, в том числе лифты, и аварийное освещение лестничных клеток) устанавливается трехфазный счетчик 5, включаемый через трансформаторы тока 4. Для подавления радиопомех на каждой фазе вводов устанавливают по одному помехозащитному конденсатору типа КЗ-05 емкостью 0,5 мкф. Конденсаторы 7 снабжены предохранителями 6 и заземлены.

Отходящие линии от ВРУ защищаются автоматическими выключателями 8. К стоякам 9 (секция III), питающим квартиры, подключены этажные квартирные щитки, которые установлены в электрошкафах 10, размещенных на лестничных клетках (ЛК).

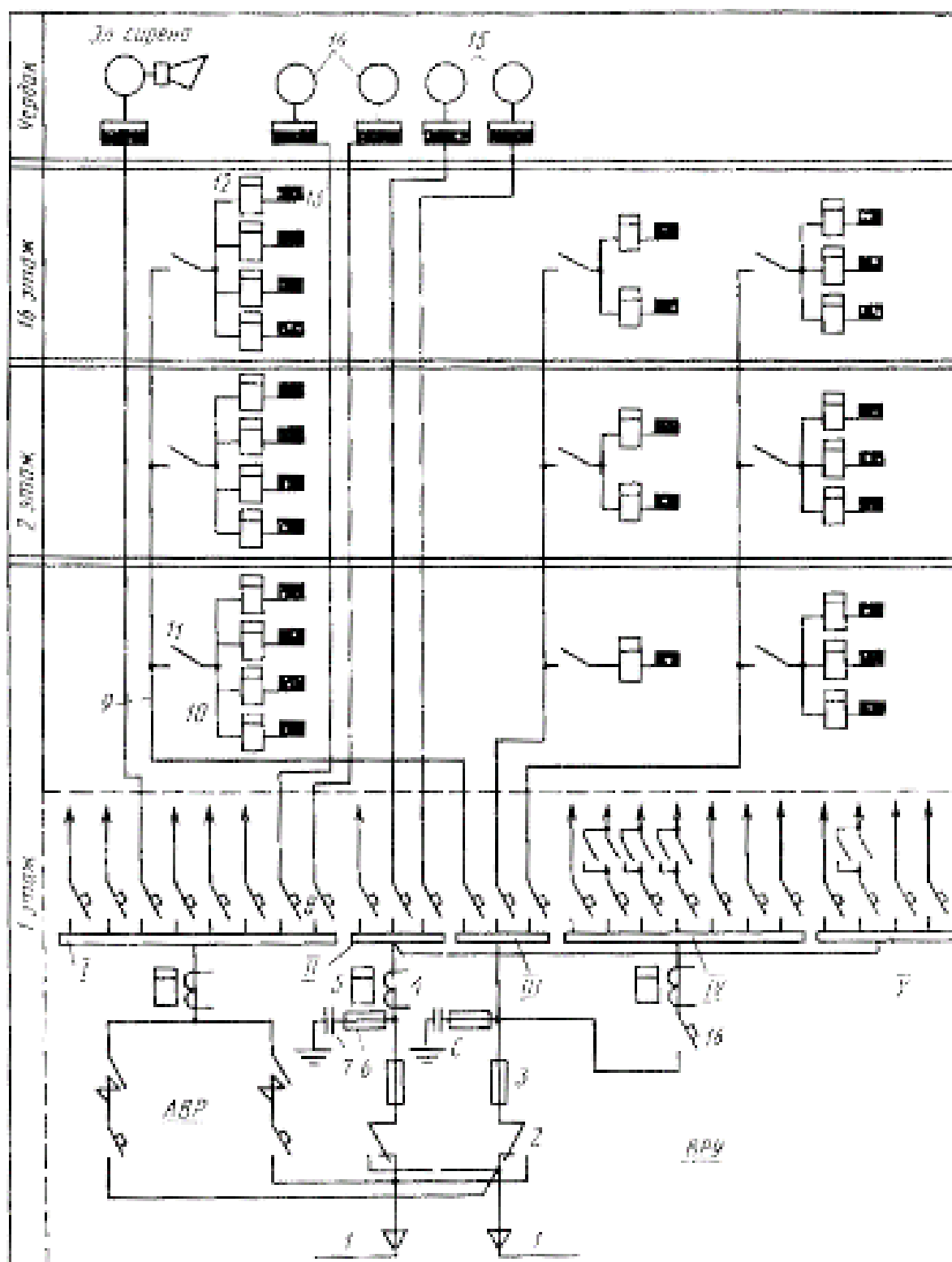


Рисунок 2 - Принципиальная схема электроснабжения многоэтажного односекционного жилого дома

На каждую группу квартир устанавливается один трехполюсный пакетный выключатель 11, который подключается к двум фазам и нулевому проводу стояка.

В электрошкафу устанавливают также однофазные квартирные счетчики 12 и групповые щитки 13 с автоматическими выключателями или предохранителями для защиты групповых линий квартир.

К специальной панели (секция I), на которой предусмотрено устройство АВР (автоматическое включение резерва), подключаются вентиляторы системы дымозащиты 14, щитки управления и эвакуационное освещение. Присоединение этой панели к двум вводам до переключателей 2 с помощью устройства АВР всегда обеспечивает бесперебойное ее электроснабжение. От секции II по питающим линиям питаются лифтовые установки 15 и эвакуационное освещение.

К секции III через автоматический выключатель 16 и приборы учета расхода электроэнергии подключена секция IV, от которой питаются общедомовые помещения. От панели V питаются штепсельные розетки для уборочных машин и аварийное освещение машинного помещения лифтов и электрощитовой.

В каждую квартиру независимо от количества в ней комнат для питания осветительных и бытовых электроприемников с газовыми плитами, как правило, проложены две однофазные группы с алюминиевыми проводами сечением 2,5 мм². Одна питает общее освещение, другая - штепсельные розетки. Допускается и смешанное питание, при этом штепсельные розетки, устанавливаемые в квартире, должны присоединяться к разным групповым линиям. Там, где есть кухонные электрические плиты, предусматривается третья групповая линия для их питания.

Для наружного питания домов в 9 - 16 этажей применяется как радиальная, так и магистральная схемы с переключателями 3 и 4 на вводах (рис. 3). При этом одна из питающих линий 1 используется для питания электроприемников квартир и общего освещения общедомовых помещений (подвал, лестничные клетки, чердаки, наружное освещение и т.д.). Другая питающая линия 2 питает лифты, противопожарные устройства и аварийное освещение.

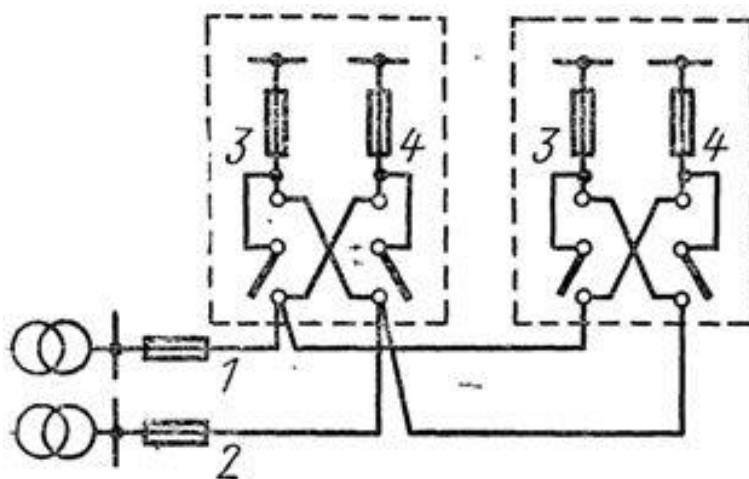


Рис. 3 - Схема питания жилых домов высотой 9-16 этажей:
1, 2 - питающие линии, 3, 4 - переключатели

При выходе из строя одной из питающих линий все электроприемники дома подключаются к линии, оставшейся в работе, которая на это рассчитана с учетом допустимых перегрузок при аварийном режиме. Таким образом, перебой в питании потребителей дома электроэнергией продолжается обычно не более 1 ч, т. е. времени, необходимого на вызов электромонтера ЖЭК и выполнение необходимых переключений. Эта же схема может быть использована для зданий высотой до пяти этажей включительно, оборудованных электроплитами.

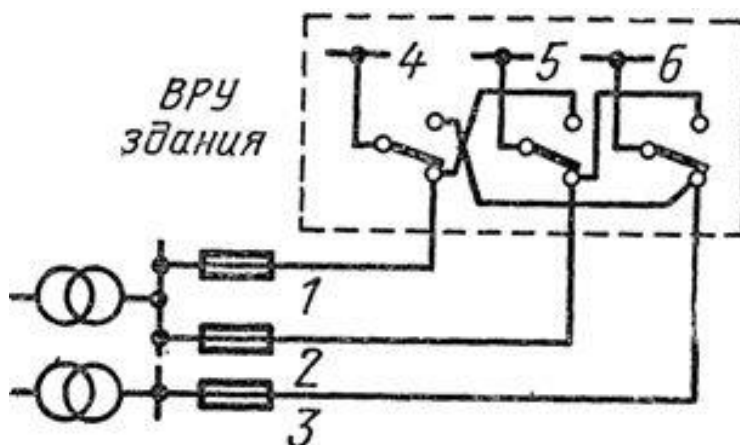


Рис. 4 - Схема питания зданий высотой 9-16 этажей с тремя вводами:
1, 2, 3 – питающие линии, 4, 5, 6 – переключатели

Для зданий с электроплитами высотой 9-10 этажей, имеющих лифты, а также для многосекционных газифицированных зданий с большим числом квартир число питающих линий (и вводов) приходится увеличивать до трех, а

иногда и более. На рис. 4 показана схема питания здания высотой 9-16 этажей с тремя вводами. Первый ввод резервирует второй, второй - третий, и, наконец, третий ввод резервирует первый.

При питании зданий по схеме на рис. 3 или 4 следует учитывать важную особенность сетей, построенных по так называемой двухлучевой схеме с АВР на стороне низшего напряжения трансформаторных подстанций, заключающуюся в следующем. Применяемые для АВР контакторные станции серии ПЭВ оборудованы контакторами, рассчитанными на длительный ток 630 А. При аварийных переключениях питающих линий нельзя допускать перегрузки контакторов, что может вывести из строя подстанции и лишит электроэнергию присоединенные здания.

В таких случаях прибегают либо к присоединению обеих питающих линий к одному трансформатору, что, конечно, несколько снижает надежность электроснабжения (например, при ремонте сборки низкого напряжения в трансформаторной подстанции (ТП)), либо к устройству АВР на стороне высшего напряжения. Первый прием следует считать предпочтительным, так как ремонты сборок в городских ТП обычно планируются и жильцы могут быть своевременно предупреждены, кроме того, такие ремонты производятся редко.

Говоря о наружных внутриквартальных сетях до 1000 В (сети от трансформаторных подстанций до зажимов выключателей вводных устройств в домах), необходимо рассмотреть вопрос о размещении трансформаторных подстанций. Как известно, подстанции, питающие жилой район, целесообразно располагать примерно в центре нагрузок. Однако архитектурно-планировочные решения района застройки не всегда допускают такое размещение подстанций, с чем приходится считаться при проектировании

В ряде случаев, особенно при многоэтажной застройке, наличии встроенных энергоемких торговых и других предприятий, а также при установке в зданиях кухонных электрических плит, экономически наиболее оправданы подстанции, встроенные в здания. Такая практика имела место в 50-х годах в Москве и некоторых других крупных городах. Однако вследствие

шума от работающих трансформаторов, проникавшего в квартиры, особенно при панельных строительных конструкциях, встроенные подстанции вызывали массовые жалобы жильцов и были запрещены ПУЭ.

Все же отказ от встроенных подстанций не может быть оправдан, так как в тех случаях, когда встраивание подстанций экономически выгодно, могут быть осуществлены технические решения строительных конструкций, исключающие проникание шума в квартиры. Примером может служить расположение подстанции в первом этаже, когда жилые этажи отделены от подстанции техническим этажом.

Возможно сооружение подземных подстанций в непосредственной близости к зданиям, что соответствовало бы современным тенденциям в строительстве крупных городов. По-видимому, могут оправдать себя и специальные строительные меры (отделение опорных конструкций трансформаторов, дополнительные или утолщенные перекрытия и стены и т. д.), а также применение трансформаторов с пониженным уровнем шума.

Схема электроснабжения жилых домов высотой 16 и более этажей предусматривает бесперебойное обеспечение электроприемников первой категории (лифты, аварийное освещение, противопожарные устройства, заградительные огни). Для этого применяют радиальные схемы питания с устройством автоматического ввода резерва (АВР) на силовых вводах, к которым присоединяют электроприемники первой категории надежности. Такая схема предусматривает два ввода от разных подстанций или разных секций одной подстанции, при этом каждая внешняя питающая линия рассчитывается на полную нагрузку.

В зарубежной практике крупные жилые комплексы оборудуются подстанциями, размещаемыми как на этажах, так и в подвалах и на чердаках. По подсчетам специалистов, такие системы позволяют достигнуть при особо высокой плотности нагрузки (электроотопление, кондиционирование и т.п.) значительной экономии капиталовложений в сеть, достигающей в отдельных

случаях 30-45%. Принципиальная схема электроснабжения здания в одном из городов США приведена на рис. 5.

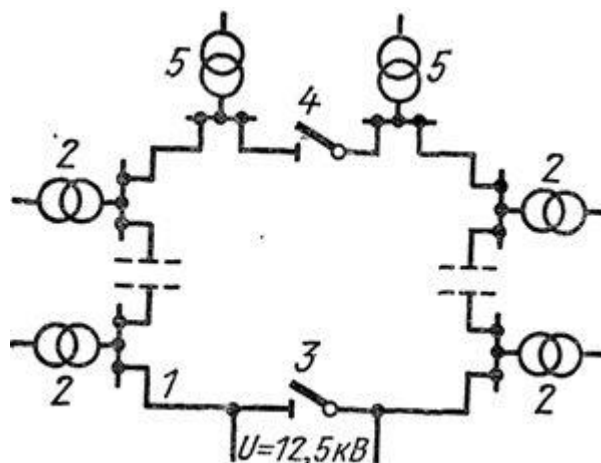


Рисунок 5 - Схема электроснабжения здания в одном из городов США:

1 - внутридомовая питающая сеть напряжением 12,5 кВ, 2- силовые трансформаторы 167 кВА, размещаемые на этажах здания, 3, 4 -коммутационные аппараты, 5 - трансформатор для питания лифтов

Список литературы

1. Алиев, И.И. Электротехника и электрооборудование : справ./ И. И. Алиев. - М.: Высш. шк., 2010. -1199 с.
2. Балаков, Юрий Николаевич. Проектирование схем электроустановок: учеб. пособие: доп. УМО / Ю. Н. Балаков, М. Ш. Мисриханов, А. В. Шунтов. - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2004. - 288 с. : рис., табл. - Библиогр.: с. 286 .
3. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие/ Е.А.Конюхова. - М.: Мастерство, 2002. -319 с.
4. Коробов, Г. В. Электроснабжение. Курсовое проектирование : учеб. пособие / Г. В. Коробов, В. В. Картавец, Н. А. Черемисинова. - 2-е изд., испр. - СПб. : Лань, 2011. - 192 с.
5. Кудрин Б.И. Системы электроснабжения [Текст] : учеб. пособие. : рек. УМО / Б. И. Кудрин. – М.: Издат. центр Академия, 2011. - 352 с.
6. Кужеков, С.Л. Практическое пособие по электрическим сетям и электрооборудованию / С. Л. Кужеков, С. В. Гончаров. - 3-е изд. - Ростов н/Д : Феникс, 2009. - 493 с. : ил. - (Профессиональное мастерство). - Библиогр.: с. 480.

7. Мясоедов Ю.В. Электрическая часть станций и подстанций: учеб. пособие: рек. ДВ РУМЦ / Ю. В. Мясоедов, Н. В. Савина, А. Г. Ротачева, 2007. - 192 с.
8. Ополева, Г. Н. Схемы и подстанции электроснабжения: справ.: учеб. пособие: рек. УМО / Г. Н. Ополева. - М. : ФОРУМ : ИНФРА - М, 2006. - 480 с. : рис., табл. - Библиогр.: с. 473 .
9. Основы современной энергетики. Часть 2. Современная электроэнергетика : Учеб. : рек. Мин. обр. РФ/ под ред. Е.В. Аметистова. – М.: Издат. дом МЭИ, 2010. – 632 с.
10. Справочник по проектированию электрических сетей [Текст] / под ред. Д. Л. Файбисовича. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : ЭНАС, 2009. - 391 с.
11. Справочник по энергоснабжению и электрооборудованию предприятий и общественных зданий / ред. С. И. Гамазин, Б. И. Кудрин, С. А. Цырук. – М.: Издат. дом МЭИ, 2010. – 745 с.
12. Фортов, В. Е. Энергетика в современном мире [Текст] / В. Е. Фортов, О. С. Попель. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 168 с.
13. Электротехнический справочник: в 4 т. / Под общ. ред. В.Г. Герасимов, Под общ. ред. А.Ф. Дьяков, Под общ. ред. Н.Ф. Ильинский, Гл. ред. А.И. Попов. - 8-е изд., испр. и доп. - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2002. Т. 3 : Производство, передача и распределение электрической энергии : справочное издание. - 2002. - 964 с.

СХЕМЫ ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Дрогайлова Людмила Николаевна, Башмаков Дмитрий Александрович,

Савицкий Сергей Константинович, Савицкая Наталья Николаевна,

Петров Кирилл Николаевич

*Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ «Казанский (Приволжский)
федеральный университет» г.Набережные Челны*

Аннотация: В статье анализируются принципы построения и схемы городских распределительных электрических сетей напряжением 6-10 кВ. Основное внимание уделено обеспечению надежности электроснабжения потребителей I и II категорий. Подробно рассмотрены двухлучевые и встречные двухлучевые схемы, их преимущества, недостатки и возможности развития. Обсуждаются вопросы резервирования, секционирования, подключения распределительных пунктов (РП) к независимым источникам питания, а также модернизации существующих сетей для повышения их надежности и пропускной способности. Опровергается мнение о прямой зависимости надежности от уровня напряжения сети.

Ключевые слова: городские электрические сети, распределительная сеть 10 кВ, надежность электроснабжения, двухлучевая схема, распределительный пункт (РП), резервирование, независимый источник питания.

SCHEMES OF URBAN ELECTRICAL NETWORKS

Drogailova Lyudmila Nikolaevna, Bashmakov Dmitry Alexandrovich,

Savitsky Sergey Konstantinovich, Savitskaya Natalya Nikolaevna,

Petrov Kirill Nikolaevich

*Naberezhnye Chelny Institute (branch) of the Federal State Autonomous
Educational Institution "Kazan (Volga Region) Federal University" Naberezhnye Chelny*

Abstract: The article analyzes the principles and schemes of urban distribution networks with a voltage of 6-10 kV. The main focus is on ensuring the reliability of

power supply for consumers of the first and second categories. Two-ray and counter two-ray schemes, their advantages, disadvantages, and development possibilities are considered in detail. The issues of redundancy, sectioning, connection of distribution points (DP) to independent power sources, as well as the modernization of existing networks to increase their reliability and capacity are discussed. The opinion about the direct dependence of reliability on the network voltage level is refuted.

Keywords: urban electrical networks, 10 kV distribution network, power supply reliability, two-ray scheme, distribution point (DP), redundancy, independent power source.

Напряжения электроснабжающих сетей города определяются характеристиками местных источников питания, плотностью и величиной нагрузки и т.п. Во всех случаях следует сокращать число трансформаций энергии. Для большинства городов наиболее целесообразной является система напряжений 220 - 110/10 кВ, для крупнейших городов 500/220 - 110/10 кВ или 330/110/10 кВ. В существующих сетях следует стремиться к ликвидации напряжения 35 кВ и переводу действующих сетей 35 кВ на повышенное напряжение 110 кВ. Напряжение 35 кВ может быть сохранено при наличии технико-экономических обоснований. Число городских понижающих подстанций с напряжением 35 кВ в этом случае должно быть предельно ограничено.

Для городских распределительных сетей должно применяться преимущественно напряжение 10 кВ. В новых районах застройки напряжение этих сетей следует принимать не ниже 10 кВ независимо от напряжения сети в существующей части города. При расширении и реконструкции действующих сетей напряжением 6 кВ следует предусматривать их перевод на напряжение 10 кВ с использованием установленного оборудования и кабелей 6 кВ. Существующие кабельные сети напряжением 6 кВ при темпах ежегодного увеличения нагрузок на 5 % и более в течение 10 - 15 расчетных лет во всех случаях следует переводить в ближайшие 5 - 10 лет на напряжение 10 кВ.

Перевод существующих сетей 6 кВ на напряжение 10 кВ следует рассматривать как важнейшую задачу реконструкции городских сетей, чтобы в дальнейшем исключить напряжение 6 кВ из числа стандартных. Напряжение 20 кВ в городских распределительных сетях применяется ограниченно и допустимо лишь при наличии генераторного напряжения 20 кВ или при реконструкции и расширении действующих сетей этого напряжения.

Распределительные сети напряжением до 1000 В должны выполняться трехфазными четырехпроводными с глухим заземлением нейтрали напряжением 380/220 В. Действующие сети напряжением 220/127 В и 3х220 В необходимо переводить на напряжение 380/220 В. При наличии технико-экономических обоснований и обеспечении требований безопасности может применяться напряжение выше 380/220 В.

Отказ электротехнического оборудования приводит к нарушению электроснабжения потребителей, в результате чего электросетевая компания недополучит определенную сумму оплаты за транспорт электроэнергии. Минимизировать потери можно лишь одним путем – в кратчайшие сроки возобновить электроснабжение потребителей. Для этого необходимо принять меры по определению поврежденного элемента и вводу его в работу.

Если же повреждена кабельная линия, то ремонт ее может занять несколько дней и более. Особенно этот факт критичен для районов с продолжительной и холодной зимой. Электроприемники 3-й категории будут все это время отключены, а для электроприемников 1 и 2 категорий будет нарушена нормальная схема электроснабжения – потеряно одно из двух независимых питаний. При отключении второго источника питания по любой причине (износ оборудования, стихийное бедствие или воздействие посторонних лиц, например, повредивших другую кабельную линию при производстве земляных работ, что далеко не редкость) эти потребители будут обесточены с вытекающими негативными последствиями.

Следовательно, схема электрической сети должна обеспечивать резервирование каждого элемента этой сети. Тогда, определив и выведя из

работы поврежденный элемент, можно подать напряжение потребителям, сохранить нормальную схему электроснабжения потребителей 1 и 2 категорий и далее заниматься восстановительными работами.

Задача построения резервируемых схем электроснабжения наиболее злободневна для предприятий, эксплуатирующих кабельные электрические сети 6–10 кВ в средних и крупных городах, где основными по надежности электроснабжения являются потребители 1 и 2 категорий. Ситуация усугубляется еще и увеличением доли потребителей 1 категории в городах с многоэтажной застройкой (например, лифтовые установки), а также с изменением требований нормативных документов. Так, Правила пожарной безопасности относят системы пожарной сигнализации, дымоудаления и насосы пожарного водоснабжения в ряде случаев к электроприемникам 1 категории.

Потребители 1 и 2 категорий в нормальных режимах должны, согласно главе 1.2 ПУЭ[1], обеспечиваться питанием от двух независимых взаиморезервирующих источников. Для электроснабжения таких потребителей нормативные документы рекомендуют в качестве основных схем двухлучевые (1 и 2 категории) и петлевые (2 категория).

При этом схемы городских электрических сетей могут строиться как однозвеньевыми без применения распределительных пунктов (РП), так и двухзвеньевыми (питание распределительной сети 6–10 кВ через шины РП).

Однозвеньевые схемы применимы в основном в малых, средних и частично в больших городах (до 250 тыс. чел.) в ненагруженных районах при мощностях трансформаторов на центрах питания до 16–25 МВА.

Двухзвеньевые схемы должны, как правило, использоваться в крупных и крупнейших городах в районах плотной и высокоплотной застройки вследствие стесненных условий и соответственно значительных затруднений с организацией выходов линий 6–10 кВ от центров питания.

Именно преобладанием потребителей 1 и 2 категорий в средних и крупных городах объясняется требование о раздельной работе секций шин РП и

ТП и питания их от независимых источников. При повреждении опоры ВЛ 110 кВ, грозовых воздействиях и других факторах могут отключиться обе цепи двухцепной воздушной ЛЭП и «погаснут» обе секции подстанции. В таких случаях секции РП должны быть подключены от разных подстанций. Но при этом необходим правильный выбор секций подстанций, к которым подключаются секции одного РП, чтобы не произошло «погашение» РП полностью при отключении цепи высшего напряжения, к которой подключены эти секции. В целях повышения надежности питания РП 6–10 кВ с присоединенной концентрированной нагрузкой промышленного потребителя могут выполняться поперечные связи между РП (прокладка кабелей, резервирующих секции РП в послеаварийном режиме).

Максимальная мощность подключаемых к РП электроприемников зависит от множества факторов, связанных с местными условиями, но некоторые моменты представляются общими.

При обычной двухлучевой схеме (рис.1) разные секции каждой двухтрансформаторной ТП включены в разные лучи, каждый из которых присоединен к разным секциям РП. В нормальном режиме лучи и секции каждой ТП работают отдельно и подключены к независимым источникам, если питающая сеть выполнена, как указано выше. В данной схеме полностью реализовано требование по резервированию каждого элемента сети. Причем число поврежденных элементов в такой схеме может быть и неравным одному. Недостаток такой схемы – при одновременном повреждении головных кабельных линий в каждом луче все потребители окажутся обесточенными.

Реальность такова, что в последние годы электрические нагрузки жилой застройки в городах стабильно растут в среднем на 2–3% в год. Возможна ситуация, когда конкретный участок сети не сможет пропускать требуемую мощность. Двухлучевая схема имеет возможность развития: достаточно проложить две дополнительные кабельные линии к ближайшей ТП (подключенной также по двухлучевой схеме) и выполнить разрывы в каждом

луче. При этом будет ликвидирован и указанный выше недостаток – схема становится гораздо надежней.

В случае присоединения «концов» лучей к разным секциям другого РП получим возможность взаимного резервирования части нагрузок этих РП. Если же подобные связи организовать между территориально расположенными рядом РП, подключенными от разных независимых источников, то можно резервировать не только нагрузки РП, но и нагрузки этих источников (рис.2).

Описанную схему можно назвать двухлучевой встречной. Однако при этом стоит отметить, что, реализуя эту идею построения схем РС, необходимо тщательно оценить требуемую пропускную способность кабельных линий для различных режимов работы сети.

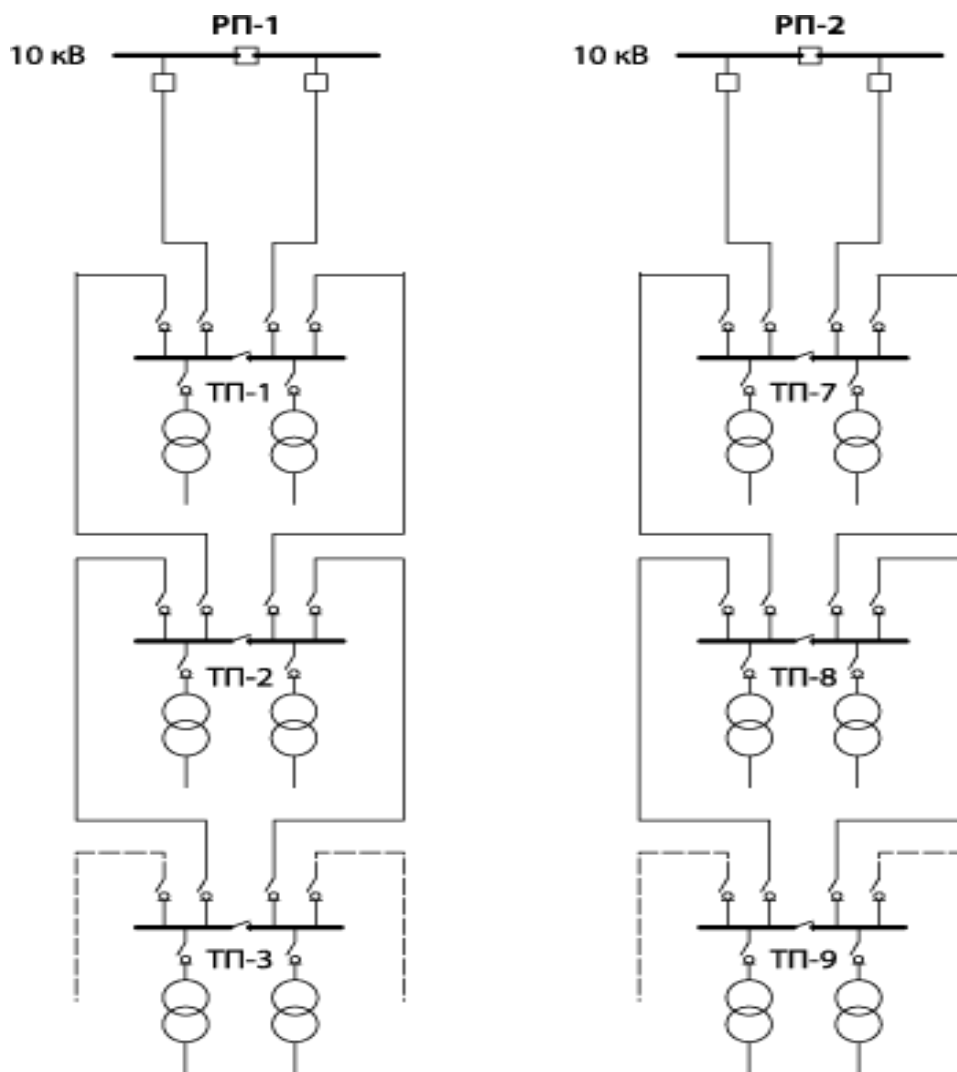


Рисунок 1 - Принципиальная схема построения распределительной сети 10 кВ – двухлучевая

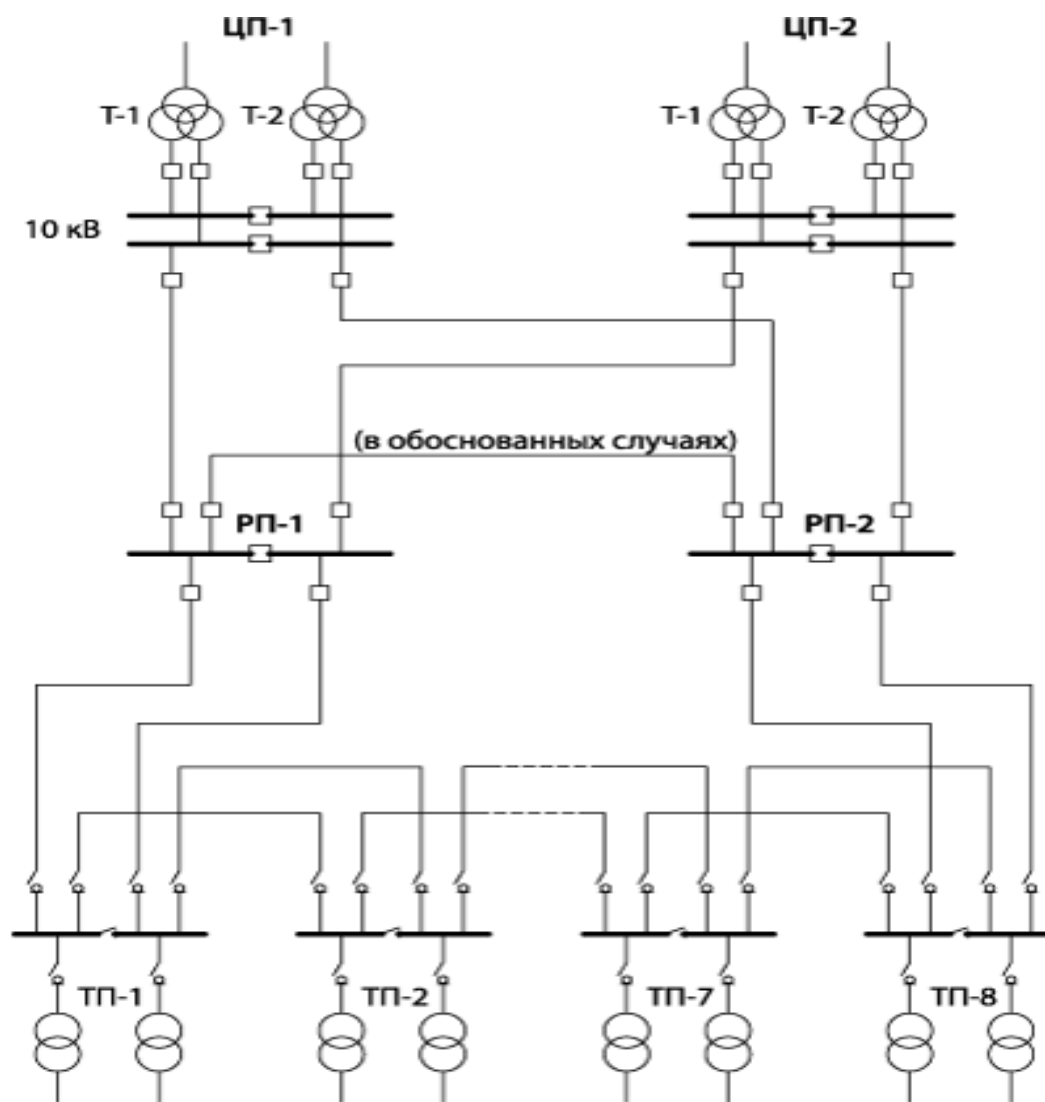


Рисунок 2 - Принципиальная схема построения распределительной сети 10 кВ – встречная двухлучевая

Этот принцип построения распределительной сети реализуем в основном при строительстве новых участков электрических сетей. Однако возможно использовать аналогичный принцип при организации сетевых поперечных связей между схемами рядом расположенных РП. Будем называть условно эти связи поперечными.

Для приведения существующих схем в соответствие с современными требованиями, в ряде случаев данного мероприятия может оказаться недостаточно – придется сооружать новые распределительные кабельные линии для обеспечения питания секций каждого РП от независимых

источников. Тем не менее такие мероприятия несравненно дешевле и реализуются гораздо быстрее, чем строительство новых сетей.

Возможно, какие-нибудь предприятия уже столкнулись с проблемой сверхнормативной перегрузки оборудования и ЛЭП в отдельных режимах работы сети. Построение схем кабельной сети по указанным принципам позволяет получить единую сеть 6–10 кВ, питание которой осуществляется от нескольких источников. Следовательно, обеспечивается резервирование нагрузки этих источников и возникает возможность маневра потоками мощностей между ними для решения многих ранее неразрешимых проблем, связанных с загрузкой оборудования.

Стоит отметить, что все указанные мероприятия по построению и модернизации схем электрической сети в той или иной степени реализованы на отдельных участках сети г. Елабуга. Таким образом, эффективность этих мероприятий подтверждена опытом эксплуатации.

Некоторые специалисты высказывают мнение о том, что повысить надежность электроснабжения потребителей можно переводом сетей с напряжения 6–10 кВ на 20 кВ. Надежность электроснабжения не зависит от напряжения (6, 10 или 20 кВ). Напряжение сети сказывается на уровне потерь электроэнергии и на величине сечений кабелей (проводов). Собственно, просто перевод сетей 6–10 кВ на напряжение 20 кВ невозможен (кабельные и воздушные линии 20 кВ требуют совершенно другого уровня изоляции в отличие от линий 6–10 кВ, равно как и трансформаторы с ВН 20 кВ – невозможно переключение обмоток действующих трансформаторов 6–10/0,4 кВ).

Список литературы

1. Алиев, И.И. Электротехника и электрооборудование : справ./ И. И. Алиев. -М.: Высш. шк., 2010. -1199 с.
2. Балаков, Юрий Николаевич. Проектирование схем электроустановок: учеб. пособие: доп. УМО / Ю. Н. Балаков, М. Ш. Мисриханов, А. В. Шунтов. - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2004. - 288 с. : рис., табл. - Библиогр.: с. 286 .

3. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие/ Е.А.Конюхова. - М.: Мастерство, 2002. -319 с.
4. Коробов, Г. В. Электроснабжение. Курсовое проектирование : учеб. пособие / Г. В. Коробов, В. В. Картавцев, Н. А. Черемисинова. - 2-е изд., испр. - СПб. : Лань, 2011. - 192 с.
5. Кудрин Б.И. Системы электроснабжения [Текст] : учеб. пособие. : рек. УМО / Б. И. Кудрин. – М.: Издат. центр Академия, 2011. - 352 с.
6. Кужеков, С.Л. Практическое пособие по электрическим сетям и электрооборудованию / С. Л. Кужеков, С. В. Гончаров. - 3-е изд. - Ростов н/Д : Феникс, 2009. - 493 с. : ил. - (Профессиональное мастерство). - Библиогр.: с. 480.
7. Мясоедов Ю.В. Электрическая часть станций и подстанций: учеб. пособие: рек. ДВ РУМЦ / Ю. В. Мясоедов, Н. В. Савина, А. Г. Ротачева, 2007. - 192 с.
8. Ополева, Г. Н. Схемы и подстанции электроснабжения: справ.: учеб. пособие: рек. УМО / Г. Н. Ополева. - М. : ФОРУМ : ИНФРА - М, 2006. - 480 с. : рис., табл. - Библиогр.: с. 473 .
9. Основы современной энергетики. Часть 2. Современная электроэнергетика : Учеб. : рек. Мин. обр. РФ/ под ред. Е.В. Аметистова. – М.: Издат. дом МЭИ, 2010. – 632 с.
- 10.Справочник по проектированию электрических сетей [Текст] / под ред. Д. Л. Файбисовича. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : ЭНАС, 2009. - 391 с.
- 11.Справочник по энергоснабжению и электрооборудованию предприятий и общественных зданий / ред. С. И. Гамазин, Б. И. Кудрин, С. А. Цырук. – М.: Издат. дом МЭИ, 2010. – 745 с.
- 12.Фортов, В. Е. Энергетика в современном мире [Текст] / В. Е. Фортов, О. С. Попель. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 168 с.
- 13.Электротехнический справочник: в 4 т. / Под общ. ред. В.Г. Герасимов, Под общ. ред. А.Ф. Дьяков, Под общ. ред. Н.Ф. Ильинский, Гл. ред. А.И. Попов. - 8-е изд., испр. и доп. - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2002. Т. 3 : Производство, передача и распределение электрической энергии : справочное издание. - 2002. - 964 с.

ТРЕБОВАНИЯ К ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЮ ТОРГОВОГО ЦЕНТРА

Дрогайлова Людмила Николаевна, Башмаков Дмитрий Александрович,

Савицкий Сергей Константинович, Савицкая Наталья Николаевна,

Петров Кирилл Николаевич

*Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ «Казанский (Приволжский)
федеральный университет» г.Набережные Челны*

Аннотация: Статья определяет специфические требования и особенности проектирования систем электроснабжения для современных торговых центров. Рассматривается необходимость в резервных источниках питания, повышенной мощности, разделении систем на рабочее, аварийное, охранное и рекламное освещение, питание холодильного, вентиляционного и другого технологического оборудования. Подчеркивается важность систем безопасности (пожарная сигнализация, дымоудаление) и их бесперебойного питания. Также затрагиваются вопросы размещения встроенных трансформаторных подстанций (ТП) и вводно-распределительных устройств (ВРУ), а также требования к системам вентиляции и кондиционирования.

Ключевые слова: электроснабжение торгового центра, надежность, резервный источник, вводно-распределительное устройство (ВРУ), трансформаторная подстанция (ТП), система безопасности, проектирование.

REQUIREMENTS FOR THE POWER SUPPLY OF A SHOPPING CENTER

Drogailova Lyudmila Nikolaevna, Bashmakov Dmitry Alexandrovich,

Savitsky Sergey Konstantinovich, Savitskaya Natalya Nikolaevna,

Petrov Kirill Nikolaevich

*Naberezhnye Chelny Institute (branch) of the Federal State Autonomous
Educational Institution "Kazan (Volga Region) Federal University" Naberezhnye Chelny*

Abstrac: The article defines the specific requirements and features of designing power supply systems for modern shopping centers. The need for backup

power sources, increased capacity, separation of systems into working, emergency, security, and advertising lighting, power supply for refrigeration, ventilation, and other technological equipment is considered. The importance of security systems (fire alarm, smoke removal) and their uninterrupted power supply is emphasized. The issues of locating built-in transformer substations (TS) and input distribution devices (IDU), as well as requirements for ventilation and air conditioning systems, are also addressed.

Keywords: shopping center power supply, reliability, backup source, input distribution device (IDU), transformer substation (TS), security system, design.

Создание проекта электроснабжения для торгового центра - весьма непростая задача, в первую очередь из-за масштабности работы, разнообразия оборудования, сложности инженерных систем и высоких нагрузок на электросеть. Проектирование электроснабжения в торговых центрах и супермаркетах имеет свои особенности. Крупный магазин потребляет большое количество энергии. И проект должен учитывать этот факт: помимо освещения, магазину требуется холодильное и вентиляционное оборудование, кассовые аппараты, печи и иная техника в пекарнях и кулинарных цехах, системы сигнализации и оповещения, складское оборудование, отопительные приборы и кондиционеры. Это предполагает прокладку силовых кабелей высокой мощности. Для успешной работы магазина или торгового центра необходимо несколько условий, которые обязательно должны учитываться при проектировании систем электроснабжения. Пожалуй, важнейшее из них - наличие дополнительного независимого источника энергии. Отключение электроснабжения не просто останавливает работу магазина - оно может привести к весьма существенным финансовым потерям, особенно если речь идет о продуктовом гипермаркете. Всего час без электричества - и продукты в холодильниках будут испорчены. Дополнительный источник электроснабжения должен быть достаточно мощным, чтобы исключить перебои в подаче энергии. Для больших магазинов и супермаркетов характерны скрытая прокладка

кабелей в специальных инженерных коробах под полом, под потолком и в стенах, а также вынесение части электрооборудования в обособленные технические помещения и оборудование центрального пульта управления. Это дает возможность контролировать работу систем, вовремя замечать неполадки и устранять их. Как правило, пункт управления системой электроснабжения располагается рядом с пунктом управления системами безопасности. Кстати, если говорить о безопасности: очевидно, что при проектировании электроснабжения для торгового центра она должна стоять на первом месте. Поэтому план обязательно должен включать в себя прокладку пожаростойких силовых кабелей для аварийного или эвакуационного освещения.

Электроснабжение каждого отдельного здания происходит через самостоятельное вводно - распределительное устройство (ВРУ). В качестве ВРУ здания следует использовать щит низкого напряжения трансформаторной подстанции. В здании должно устанавливаться одно ВРУ, расположенное у основного абонента, независимо от числа предприятий, учреждений, организаций, расположенных в здании. Увеличение количества ВРУ допускается при нагрузке на каждом из вводов в нормальном или аварийном режиме более 630 А.

Помещения, в которых установлены ВРУ, ГРЩ, должны иметь естественную вентиляцию, электрическое освещение. Температура помещения не должна быть ниже +5 °С. Двери электрощитовых помещений должны открываться наружу. В предприятиях торговой площадью от 250 м и выше предусматриваются два ввода от разных источников питания. Электропитание от двух вводов (при их отсутствии - от двух линий одного ввода), независимо от категории по надежности электроснабжения здания, должно предусматриваться для противопожарных устройств и охранной сигнализации.

При размещении торгового центра с предприятиями розничной торговли в одном здании и потребной мощности его электроприемников 400 кВА и более

рекомендуется проектировать встроенную (пристроенную) трансформаторную подстанцию(ТП).

В предприятиях питания разрешается размещать встроенные и пристроенные ТП, в том числе комплектные(КТП), при условии соблюдения требований ПУЭ, соответствующих санитарных и противопожарных норм. Встроенные ТП размещаются в одном или смежных помещениях с главным распределительным щитом (ГРЩ).

Электроснабжение крупных торговых центров обладает рядом особенностей, самой важной из которых является потребность в круглосуточном непрерывном функционировании системы, обеспечивающей максимальный комфорт посетителей и обеспечение надежной безопасности торгового предприятия.

Кроме того, сети электроснабжения крупных торговых точек подвергаются высокой нагрузке, требуя значительный запас мощности.

Качественно разработанный проект электроснабжения торгового центра предусматривает наличие разнообразных инженерных систем, участвующих в обеспечении его непрерывной работы.

Он предусматривает наличие следующих элементов:

- система, осуществляющая поставку электрического тока к торговой точке, она включает трансформаторное и распределительное оборудование и обеспечивает подключение к централизованной электросети;
- система освещения торговых помещений, включающая подсветку витрин, рекламное освещение и т.д.;
- система, обеспечивающая питание производственного оборудования (кассовых аппаратов, оборудования кафе, расположенных в торговом центре и мн.др.);
- системы охранной и пожарной безопасности, включающие автоматические средства, оповещающие о возникновении чрезвычайной ситуации и предпринимающие меры к их предотвращению;

- система электропитания резервного типа, вступающая в действие при отключении основного источника питания;

- система наружного электроснабжения, эффектно подчеркивающего архитектуру здания торгового центра и способствующего привлечению покупателей;

- системы, поддерживающие оптимальный микроклимат в торговых и складских помещениях (вентиляция, кондиционирование, обогрев, поддержание необходимого уровня влажности).

Системы не должны создавать проблем обслуживающему персоналу, быть удобными в обслуживании, легко поддаваться регулировкам и не создавать большого шума.

Вентиляцию и аварийную противодымную вентиляцию магазинов, торговых центров и супермаркетов следует проектировать в соответствии со СНиП. При размещении в здании нескольких магазинов для каждого из них следует проектировать отдельные ветви системы вентиляции. В продовольственных и непродовольственных магазинах торговой площадью до 400м² допускается проектировать вентиляции с естественным побуждением. В помещениях магазинов торговой площадью 400м² и более, оборудованных вентиляцией с механическим побуждением, объем вытяжки должен быть полностью компенсирован. В том случае, если проектируется вентиляция торговых центров, имеющих торговые площади в 3500м² и более, обязательно в систему включается установка для кондиционирования воздуха. Эти требования действительны для магазинов, расположенных в средней полосе. При ориентации на юг, восток и юго-восток остекленных проемов торговых залов и служебных помещений магазинов допускается предусматривать установку оконных или комнатных кондиционеров. В торговых залах магазинов, кроме торговых залов с химическими, синтетическими или пахучими веществами и горючими жидкостями, допускается применять рециркуляцию воздуха. Системы вентиляции магазинов, встроенно-пристроенных, встроенных в жилые здания, а также в здания иного назначения

или пристроенных к ним не допускается объединять с системами вентиляции этих зданий. В помещениях кладовых следует, как правило, предусматривать естественную систему вентиляции с самостоятельными каналами. Допускается подсоединение системы вытяжной вентиляции кладовых к общеобменной системе механической вентиляции подсобных помещений при условии установки огнезадерживающих клапанов.

Во время проектирования системы вентиляции многоэтажных торговых сооружений необходимо иметь в виду, что на верхних этажах ниже посещаемость, чем на первом, поэтому необходимо учитывать меньшую плотность посетителей. Для привлечения покупателей на верхних этажах размещают рестораны и закусочные, что создает определенные трудности по вентиляции и отводу отработанного воздуха.

Список литературы

1. Алиев, И.И. Электротехника и электрооборудование : справ./ И. И. Алиев. - М.: Высш. шк., 2010. -1199 с.
2. Балаков, Юрий Николаевич. Проектирование схем электроустановок: учеб. пособие: доп. УМО / Ю. Н. Балаков, М. Ш. Мисриханов, А. В. Шунтов. - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2004. - 288 с. : рис., табл. - Библиогр.: с. 286 .
3. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие/ Е.А.Конюхова. - М.: Мастерство, 2002. -319 с.
4. Коробов, Г. В. Электроснабжение. Курсовое проектирование : учеб. пособие / Г. В. Коробов, В. В. Картавец, Н. А. Черемисинова. - 2-е изд., испр. - СПб. : Лань, 2011. - 192 с.
5. Кудрин Б.И. Системы электроснабжения [Текст] : учеб. пособие. : рек. УМО / Б. И. Кудрин. – М.: Издат. центр Академия, 2011. - 352 с.
6. Кужеков, С.Л. Практическое пособие по электрическим сетям и электрооборудованию / С. Л. Кужеков, С. В. Гончаров. - 3-е изд. - Ростов н/Д : Феникс, 2009. - 493 с. : ил. - (Профессиональное мастерство). - Библиогр.: с. 480.

7. Мясоедов Ю.В. Электрическая часть станций и подстанций: учеб. пособие: рек. ДВ РУМЦ / Ю. В. Мясоедов, Н. В. Савина, А. Г. Ротачева, 2007. - 192 с.
8. Ополева, Г. Н. Схемы и подстанции электроснабжения: справ.: учеб. пособие: рек. УМО / Г. Н. Ополева. - М. : ФОРУМ : ИНФРА - М, 2006. - 480 с. : рис., табл. - Библиогр.: с. 473 .
9. Основы современной энергетики. Часть 2. Современная электроэнергетика : Учеб. : рек. Мин. обр. РФ/ под ред. Е.В. Аметистова. – М.: Издат. дом МЭИ, 2010. – 632 с.
10. Справочник по проектированию электрических сетей [Текст] / под ред. Д. Л. Файбисовича. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : ЭНАС, 2009. - 391 с.
11. Справочник по энергоснабжению и электрооборудованию предприятий и общественных зданий / ред. С. И. Гамазин, Б. И. Кудрин, С. А. Цырук. – М.: Издат. дом МЭИ, 2010. – 745 с.
12. Фортов, В. Е. Энергетика в современном мире [Текст] / В. Е. Фортов, О. С. Попель. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 168 с.
13. Электротехнический справочник: в 4 т. / Под общ. ред. В.Г. Герасимов, Под общ. ред. А.Ф. Дьяков, Под общ. ред. Н.Ф. Ильинский, Гл. ред. А.И. Попов. - 8-е изд., испр. и доп. - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2002. Т. 3 : Производство, передача и распределение электрической энергии : справочное издание. - 2002. - 964 с.

ИСТОЧНИКИ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ

Дрогайлова Людмила Николаевна, Башмаков Дмитрий Александрович,

Савицкий Сергей Константинович, Савицкая Наталья Николаевна,

Петров Кирилл Николаевич

Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ «Казанский (Приволжский) федеральный университет» г.Набережные Челны

Аннотация: Статья посвящена роли источников бесперебойного питания (ИБП) и дизель-генераторных установок (ДГУ) в создании систем гарантированного электроснабжения для критически важных потребителей, таких как торговые центры и высотные здания. Рассматриваются принципы работы ИБП онлайн-типа (с двойным преобразованием), их ключевые характеристики и преимущества. Приводятся критерии выбора ДГУ (мощность, количество фаз, экономичность). Описывается структурная схема системы бесперебойного питания и нормативные требования к резервированию для потребителей особой группы I категории.

Ключевые слова: источник бесперебойного питания (ИБП), дизель-генераторная установка (ДГУ), гарантированное электроснабжение, двойное преобразование, автоматический ввод резерва (АВР), критическая нагрузка.

UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLIES

Drogailova Lyudmila Nikolaevna, Bashmakov Dmitry Alexandrovich,

Savitsky Sergey Konstantinovich, Savitskaya Natalya Nikolaevna,

Petrov Kirill Nikolaevich

Naberezhnye Chelny Institute (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution "Kazan (Volga Region) Federal University" Naberezhnye Chelny

Abstract: The article is devoted to the role of uninterruptible power supplies (UPS) and diesel generator sets (DGS) in creating guaranteed power supply systems for critical consumers such as shopping centers and high-rise buildings. The operating

principles of online UPS (with double conversion), their key characteristics and advantages are considered. The criteria for selecting DGS (power, number of phases, fuel efficiency) are given. The structural diagram of an uninterruptible power supply system and regulatory requirements for redundancy for consumers of a special group of the first category are described.

Keywords: uninterruptible power supply (UPS), diesel generator set (DGS), guaranteed power supply, double conversion, automatic transfer switch (ATS), critical load.

Современные торговые центры вмещают сотни людей, пропуская через себя крупные денежные потоки. Сбой в работе таких учреждений влечёт за собой неизбежные финансовые убытки и может повлиять на репутацию в целом. Самой распространённой причиной таких сбоев является нарушение электропитания в сетях общего пользования. Для защиты от подобных ситуаций, для безопасности самих учреждений и их посетителей необходима резервная система бесперебойного электропитания критически важных нагрузок.

Система бесперебойного гарантированного энергоснабжения подразумевает использование источника бесперебойного питания (ИБП) и генераторной установки. Использование источника бесперебойного питания (ИБП) при сбое в городской сети даёт учреждению возможность автономной работы от нескольких минут до нескольких часов или до запуска электростанции, которая в свою очередь обеспечивает длительную независимую устойчивую работу учреждения при исчезновении напряжения во внешней электросети.

Определяющим критерием при выборе дизельного генератора является суммарная максимальная мощность всех потребителей электроэнергии, которые будут запитываться от электростанции. Мощность дизель-генератора должна быть не ниже суммарной максимальной мощности всего оборудования, работающего одновременно (Вт). Если необходимо подключать приборы с

активным сопротивлением (лампы накаливания, тэны, нагревательные приборы), то необходимо добавить запас мощности, примерно 20-30%. Если необходимо подключить приборы и инструменты с индуктивным сопротивлением (ручной электроинструмент, электромоторы, станки), то нужно учитывать пусковые токи, которые могут мгновенно повышать потребляемую мощность в разы. Для расчета необходимой мощности дизель-генератора нужно умножить мощность каждого потребителя на повышающий коэффициент, который равен 1,5-5,0.

Дизель-генераторы подразделяются на высокооборотистые 3000 об/мин и низкооборотистые 1500 об/мин. Если эксплуатация дизель-генератора будет порядка 400-500 моточасов в год, то можно остановить выбор на электростанции с частотой вращения вала 3000 об/мин. Дизель генератор с двигателем на 3000 оборотов/мин дешевле и меньше по весу и габаритам, но имеет высокий уровень шума и более высокий расход топлива, а также значительно меньший ресурс работы. Особое внимание при выборе необходимо обратить на количество фаз. В настоящее время выпускаются однофазные и трёхфазные дизельные генераторы. Однофазные дизель-генераторы применяются в быту при использовании однофазных бытовых электроприборов. При энергоснабжении промышленных потребителей оптимальны трёхфазные генераторы, дизельные электростанции.

Экономичность и емкость топливного бака – также немаловажные критерии при выборе электростанции. Обычно экономичность определяется часовым расходом топлива при номинальной нагрузке (л/ч). Зная емкость топливного бака и расход топлива за час, можно определить промежуток времени, через который необходимо заправлять дизель-генератор.

Технически правильная, корректно выполненная система бесперебойного гарантированного энергоснабжения на базе ИБП с двойным преобразованием (On-line, VFI-SS-111 class A) гарантирует «чистое» электропитание критически важных потребителей, защиту от всех видов помех, встречающихся в сетях общего пользования.

Источники бесперебойного питания (ИБП) серии GPower построены по схеме On-Line с двойным преобразованием напряжения. Выходное напряжение ИБП имеет форму чистой синусоиды. В них используются самые современные схемотехнические решения, поэтому ИБП обладают превосходными техническими характеристиками и высокой надежностью. Данные ИБП обеспечивают качественную защиту нагрузки от всех проблем, связанных с электропитанием: пропадание, провалы, всплески, шумы, искажение формы и частоты сетевого напряжения, что позволяет использовать ИБП как в промышленной сфере, так и в сфере бытового применения.

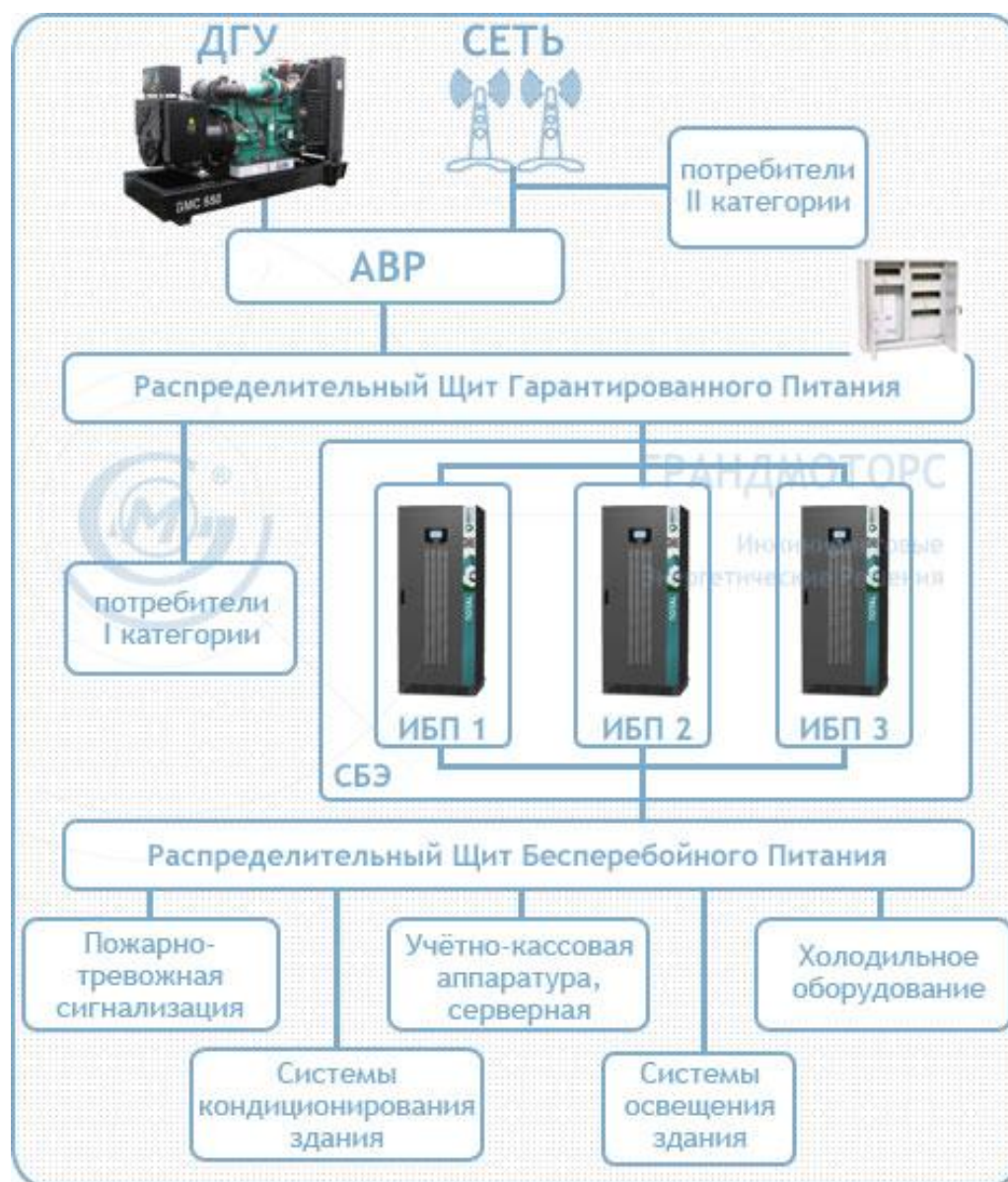


Рисунок 1 - Структурная схема системы бесперебойного гарантированного электропитания торгово-развлекательных центров

Область применения **источников бесперебойного питания**:

- Телекоммуникационные системы (офисные автоматические телефонные станции, xDSL-оборудование, оборудование радиосвязи);
- Компьютеризированные системы и сети (компьютеры, серверы, сетевое оборудование);
- Оборудование «последней мили»;
- Системы жизнеобеспечения квартир, коттеджей и дачных домов (системы отопления, системы видеонаблюдения, охранные системы, системы контроля доступа, системы пожарной сигнализации);
- Бытовая техника (телевизоры, HI-FI системы, радиотелефонные аппараты, компьютеры и т.д.);
- Офисное оборудование;
- Системы дежурного и аварийного освещения.

Отличительные особенности ИБП:

- Длительное время автономной работы;
- Широкий диапазон стабилизации сетевого напряжения (позволяет существенно продлить срок службы аккумуляторных батарей);
- Синусоидальная форма выходного напряжения;
- Функция «холодного» старта (позволяет включать ИБП для питания нагрузки при отсутствии сетевого напряжения);
- Развитая система мониторинга и дистанционного управления (позволяет постоянно контролировать режим электроснабжения и управлять питанием оборудования);
- Защита от глубокого разряда АБ, защита от перегрева и длительной перегрузки;
- Микропроцессорное управление;
- Удобный пользовательский интерфейс;
- Эргономичный дизайн, компактный размер.

ИБП ATS 1000 R предназначен для работы с внешними аккумуляторными батареями или с батарейными модулями ВР 36-14-2U. ИБП имеет встроенное зарядное устройство повышенной мощности, которое позволяет подключать аккумуляторную батарею большой ёмкости или параллельное подключение нескольких батарейных модулей, тем самым обеспечивая возможность продолжительной работы в автономном режиме при длительных перерывах сетевого напряжения.

При работе в дежурном режиме ИБП обеспечивают стабилизацию выходного напряжения переменного тока с точностью $\pm 2\%$ и частоты $\pm 0,2\%$ в диапазоне сетевого напряжения от 115В до 295В. Это обеспечивает стабильное электропитание нагрузки и сокращение количества циклов заряд-разряд аккумуляторной батареи, сохраняя, тем самым её ресурс при работе на объектах с частыми и продолжительными отклонениями от нормы параметров напряжения сети.

ИБП обеспечивают дистанционный контроль основных параметров, режимов работы, управление электропитанием нагрузки по последовательному порту RS-232, в сетях Internet/Intranet по протоколу SNMP при помощи встраиваемого WEB/SNMP-адаптера «WEBtel II ES» с интегрированным WEB-сервером или по релейному интерфейсу дистанционной сигнализации AS/400 «сухие» контакты.

Выходное напряжение инвертора ИБП формируется по принципу широтно-импульсной модуляции и имеет синусоидальную форму, что обеспечивает возможность подключения к ИБП нагрузок, чувствительных к форме питающего напряжения (котлы и системы отопления, нагрузки с трансформаторными блоками питания, видео- и аудиоаппаратура).

ИБП может быть включен в автономном режиме при отсутствии входного напряжения. Эта функция удобна при необходимости включения нагрузки в отсутствии напряжения в сети переменного тока.

Программа UPS Agent предназначена для обеспечения надежной работы потребителей, подключенных к ИБП, путем организации непрерывного интеллектуального контроля и управления устройством.

Программа UPS Agent обеспечивает:

- Мониторинг основных параметров ИБП, в том числе входное и выходное напряжения, частоты, уровня нагрузки, остаточной емкости батарей и температуры инвертора ИБП;
- Информирование пользователя о параметрах внешней питающей сети и режимах работы ИБП;
- Настройку работы ИБП по расписанию;
- Дистанционный перезапуск оборудования, подключённого к ИБП;
- Корректное завершение работы подключенного компьютера;
- Ведение журнала системных событий ИБП для последующего анализа;
- Сбор статистики по ключевым системным событиям;
- Упрощение анализа причин сбоев оборудования и помощь в принятии решений по исключению сбоев в будущем.

В нормативных документах закреплено требование, согласно которому для любой подстанции обязательно наличие двух трансформаторов, которые должны быть закольцованы. Для высотного здания, помимо наличия двух обязательных независимых источников, должен быть предусмотрен третий независимый источник для электроснабжения потребителей особой группы первой категории (лифты, системы дымоудаления, аварийное освещение, пожарная сигнализация). Этот третий источник подключается автоматически при перерыве в электроснабжении от двух основных источников. В качестве такого третьего независимого источника применяются автономные дизель-генераторные установки (ДГУ). По требованию нормативных документов электроснабжение от автономных источников должно обеспечиваться в течение трех часов. Помимо ДГУ могут применяться источники бесперебойного питания (ИБП), однако в настоящее время доступные модели ИБП могут обеспечить существенно меньшее время работы (как правило, около 20 минут),

поэтому эти устройства рассматриваются не как замена, а как дополнение к дизель-генераторным установкам.

Следует отметить, что размещение дизель-генераторных установок зачастую вызывает определенные трудности. Это связано с тем, что заказчики не очень охотно выделяют площади для размещения оборудования, которое работает только в условиях чрезвычайной ситуации, а в данном случае необходимо выделить достаточно большие помещения для размещения как самих установок, так и емкостей, предназначенных для хранения запасов жидкого топлива. Заказчик же стремится получить как можно больше площадей («квадратных метров»), пригодных к продаже.

ДГУ рассчитываются на максимальную и минимальную нагрузку. С точки зрения службы эксплуатации к потребителям особой группы первой категории должны быть дополнительно отнесены и центральные тепловые пункты, обслуживающие подобные многофункциональные комплексы. Эти системы влияют на жизнедеятельность всего комплекса. Здесь речь идет не столько о нормальном функционировании этих систем в случае пожара, сколько об обеспечении функционирования инженерных систем в случае перебоев в электроснабжении. При этом существенным является даже не учет дополнительной нагрузки, а подключение этих систем к резервному источнику электроснабжения. Совершенно очевидно, что в случае возникновения пожара или подобной экстраординарной ситуации эти системы можно автоматически отключить от резервного источника, поскольку приоритет будет отдан ликвидации пожара. Но независимый резервный источник электроснабжения для насосных групп и автоматики ЦТП совершенно необходим, что показали аварии, имевшие место в Москве. Представляется, что подобное положение должно быть закреплено в требованиях нормативных документов, тем более что использование такого источника все равно является обязательным, и требуется просто учитывать его в системе электроснабжения комплекса, с тем, чтобы избежать претензий со стороны надзорных органов.

Список литературы

1. Алиев, И.И. Электротехника и электрооборудование : справ./ И. И. Алиев. - М.: Высш. шк., 2010. -1199 с.
2. Балаков, Юрий Николаевич. Проектирование схем электроустановок: учеб. пособие: доп. УМО / Ю. Н. Балаков, М. Ш. Мисриханов, А. В. Шунтов. - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2004. - 288 с. : рис., табл. - Библиогр.: с. 286 .
3. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие/ Е.А.Конюхова. - М.: Мастерство, 2002. -319 с.
4. Коробов, Г. В. Электроснабжение. Курсовое проектирование : учеб. пособие / Г. В. Коробов, В. В. Картавцев, Н. А. Черемисинова. - 2-е изд., испр. - СПб. : Лань, 2011. - 192 с.
5. Кудрин Б.И. Системы электроснабжения [Текст] : учеб. пособие. : рек. УМО / Б. И. Кудрин. – М.: Издат. центр Академия, 2011. - 352 с.
6. Кужеков, С.Л. Практическое пособие по электрическим сетям и электрооборудованию / С. Л. Кужеков, С. В. Гончаров. - 3-е изд. - Ростов н/Д : Феникс, 2009. - 493 с. : ил. - (Профессиональное мастерство). - Библиогр.: с. 480.
7. Мясоедов Ю.В. Электрическая часть станций и подстанций: учеб. пособие: рек. ДВ РУМЦ / Ю. В. Мясоедов, Н. В. Савина, А. Г. Ротачева, 2007. - 192 с.
8. Ополева, Г. Н. Схемы и подстанции электроснабжения: справ.: учеб. пособие: рек. УМО / Г. Н. Ополева. - М. : ФОРУМ : ИНФРА - М, 2006. - 480 с. : рис., табл. - Библиогр.: с. 473 .
9. Основы современной энергетики. Часть 2. Современная электроэнергетика : Учеб. : рек. Мин. обр. РФ/ под ред. Е.В. Аметистова. – М.: Издат. дом МЭИ, 2010. – 632 с.
- 10.Справочник по проектированию электрических сетей [Текст] / под ред. Д. Л. Файбисовича. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : ЭНАС, 2009. - 391 с.
- 11.Справочник по энергоснабжению и электрооборудованию предприятий и общественных зданий / ред. С. И. Гамазин, Б. И. Кудрин, С. А. Цырук. – М.: Издат. дом МЭИ, 2010. – 745 с.

- 12.Фортов, В. Е. Энергетика в современном мире [Текст] / В. Е. Фортов, О. С. Попель. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 168 с.
- 13.Электротехнический справочник: в 4 т. / Под общ. ред. В.Г. Герасимов, Под общ. ред. А.Ф. Дьяков, Под общ. ред. Н.Ф. Ильинский, Гл. ред. А.И. Попов. - 8-е изд., испр. и доп. - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2002. Т. 3 : Производство, передача и распределение электрической энергии : справочное издание. - 2002. - 964 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ ВЕТРОЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА

*Нуриев Ильсур Мухтарович, Башмаков Дмитрий Александрович,
Савицкий Сергей Константинович, Савицкая Наталья Николаевна,*

Петров Кирилл Николаевич

*Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ «Казанский (Приволжский)
федеральный университет» г.Набережные Челны*

Аннотация: Статья представляет собой обзор теоретических основ ветроэнергетики. Рассматривается принцип преобразования кинетической энергии ветра в электрическую, приводится формула для расчета мощности ветроустановки. Дается классификация ветродвигателей (ветротурбин) по ориентации оси вращения (горизонтально-осевые, вертикально-осевые) и по принципу силового взаимодействия (использующие подъемную силу или силу аэродинамического сопротивления). Приводятся схемы и краткие описания различных типов роторов (Дарье, Савониуса, Флеттнера и др.).

Ключевые слова: ветроэнергетика, ветроэлектрогенератор, ветродвигатель, мощность ветрового потока, классификация ветротурбин, ротор Дарье, ротор Савониуса.

STUDY OF CHARACTERISTICS AND DETERMINATION OF DEPENDENCIES OF A WIND ELECTRIC GENERATOR

*Nuriev Ilsur Mukhtarovich, Bashmakov Dmitry Alexandrovich,
Savitsky Sergey Konstantinovich, Savitskaya Natalya Nikolaevna,*

Petrov Kirill Nikolaevich

*Naberezhnye Chelny Institute (branch) of the Federal State Autonomous Educational
Institution "Kazan (Volga Region) Federal University" Naberezhnye Chelny*

Abstract: The article provides an overview of the theoretical foundations of wind energy. The principle of converting the kinetic energy of the wind into electrical

energy is considered, and a formula for calculating the power of a wind turbine is given. A classification of wind turbines by the orientation of the rotation axis (horizontal-axis, vertical-axis) and by the principle of force interaction (using lift force or drag force) is presented. Schemes and brief descriptions of various types of rotors (Darrieus, Savonius, Flettner, etc.) are provided.

Keywords: wind power, wind electric generator, wind turbine, wind flow power, classification of wind turbines, Darrieus rotor, Savonius rotor.

Основные теоретические сведения

Энергия ветра стала применяться в промышленности сравнительно недавно - не более полувека назад. Энергия ветра - уникальный ресурс, так как человечеству необходимо лишь использовать её, не предпринимая никаких усилий по возобновлению её запасов. При существующем уровне научно-технического прогресса энергопотребление может быть покрыто лишь за счет использования органических топлив (уголь, нефть, газ) и атомной энергии, относящихся к невозобновляемым источникам энергии. Однако, по результатам многочисленных исследований органическое топливо к 2021 г. может удовлетворить запросы мировой энергетики только частично. Остальная часть энергопотребности может быть удовлетворена за счет других источников энергии - солнечная, ветровая, геотермальная, энергия морских волн, приливов и океана, энергия биомассы, древесины, древесного угля, торфа, тяглового скота, сланцев, битуминозных песчаников и гидроэнергия больших и малых водотоков, относящихся к нетрадиционным и возобновляемым источникам энергии. Одним из наиболее используемых нетрадиционных источников энергии является ветровая энергия. Для приземного слоя толщиной в 500 метров энергия ветра составляет примерно 82 триллиона киловатт-часов в год. Если даже использовать хотя бы 10 % (что вполне реально и экономически оправдано) этой энергии, то это примерно равно количеству электроэнергии, вырабатываемой на всем Земном шаре.

Перерабатывать энергию ветра можно с помощью ветроэлектрогенератора.

Ветрогенератор (ветроэлектрическая установка или сокращенно ВЭУ) - устройство для преобразования кинетической энергии ветрового потока в механическую энергию вращения ротора с последующим её преобразованием в электрическую энергию.

Ветрогенераторы можно разделить на три категории: промышленные, коммерческие и бытовые (для частного использования).

Промышленные устанавливаются государством или крупными энергетическими корпорациями. Как правило, их объединяют в сети, в результате получается ветровая электростанция. Раньше считалось, что они полностью экологичны, чем отличаются от традиционных. Однако лопасти ветрогенератора сделаны из полимерного композита, вторичное использование и переработка которого невыгодны с точки зрения расходов. Сейчас вопрос о переработке лопастей является открытым.

Единственное важное требование для ВЭС - высокий среднегодовой уровень ветра. Мощность современных ветрогенераторов достигает 8 МВт.

Мощность ветрогенератора зависит от мощности воздушного потока (N), определяемой скоростью ветра и ометаемой площадью

$$N = \rho * S * V^3 / 2,$$

где V – скорость ветра,

ρ – плотность воздуха,

S – ометаемая площадь.

Особенности устройства ветроэлектрогенератора



Данное оборудование имеет лопасти, которые приводятся в движение вследствие воздействия силы ветра. Данное вращение запускает турбину, которая также начинает вращаться. В турбине начинает генерироваться энергия, мощность которой определяется силой ветра. С ростом ветровой энергии увеличивается и механическая, вырабатываемая турбиной. Устройство ветрогенератора может отличаться наличием или отсутствием мультипликатора на роторе. Если он предусмотрен, энергия от турбины передается ему. Назначением мультипликатора является ускорение вращения оси. Установки без этого оборудования являются более эффективными, поскольку в них не происходит генерации дополнительной энергии (для ускорения вращения оси), а значит, и ее растраты. Такому оборудованию вполне достаточно ветровой энергии для полноценного функционирования. Принцип работы ветряной электростанции позволил получать электроэнергию альтернативным способом и обеспечить автономность каждого объекта. Мощность данного оборудования полностью определяется размерами его лопастей. Чем больше их площадь, тем выше мощность можно получить, используя принцип работы ветроустановки. Расчет мощности ветряного оборудования производится на основе кубической зависимости скорости ветряного потока. Кубическая зависимость означает, что если ветровой поток скорости, условно 6 м/сек, обеспечивает мощность установки 100 Вт, то увеличение потока до 12 м/сек приведет к возрастанию мощности в восемь раз – до 800 Вт. Если турбина характеризуется небольшими размерами, для получения высокой мощности будет необходим очень сильный ветер. Если же турбина большая, она способна и при незначительной ветровой скорости выдавать необходимую мощность. Конструкция ветряка полностью определяет его способности вырабатывать определенное количество электроэнергии за единицу времени в зависимости от скорости ветрового потока.

Классификация ветродвигателей (ветротурбин)

Классификация ветродвигателей возможна по ряду различных признаков, как основных, так и второстепенных. Одним из основных признаков

классификации является ориентация вектора Q угловой скорости вращения ротора ветродвигателя относительно вектора V_0 скорости ветра в свободном атмосферном потоке. По этому признаку ветродвигатели подразделяют на коллинеарные и ортогональные. Коллинеарным называют ветродвигатель, для которого векторы V_0 и Q параллельны или антипараллельны. Таким является горизонтально-осевой ветродвигатель. Ортогональным в общем случае называют ветродвигатель, для которого векторы V_0 и ω перпендикулярны.

Возможны два частных случая вариантов их сочетания:

1) вектор вращения ω перпендикулярен поверхности земли; таким ветродвигателем является вертикально-осевой ветродвигатель, называемый иногда роторным, или карусельным;

2) вектор вращения ω параллелен поверхности земли; такой ветродвигатель называется иногда барабанным. Возможен ветродвигатель, у которого угол между векторами V_0 и Q острый (между 0 и 90°). Такой ветродвигатель можно назвать наклонно-осевым. Примером реализаций этой схемы является шнековый ветродвигатель. По другому основному признаку, по принципу силового аэродинамического взаимодействия лопастной системы ветродвигателя с потоком набегающего на него воздуха, ветродвигатели можно подразделить на два типа:

1) ветродвигатели, которые используют во время движения лопастной системы подъемную силу, возникающую на рабочих элементах лопастной системы (жестких лопастях, вращающихся цилиндрах) и создающую крутящий момент;

2) ветродвигатели, которые используют во время движения лопастной системы различие в аэродинамических силах, возникающих на различных элементах лопастной системы (крыловых лопастях или каких-либо других поверхностях), в моменты движения этих поверхностей по направлению ветра и против направления ветра, т.е. различие в аэродинамическом сопротивлении, возникающем на элементах лопастной системы. К ветродвигателям первого типа относятся ветродвигатели, изображенные на рис.5. Примером

ветродвигателя второго типа может служить чашечный анемометр, измеряющий скорость ветра.

Возможная классификация ветродвигателей (ветротурбин) с механической передачей на основе их различия по конструктивным признакам дана на рис. 4. На рис. 5-7 приведены примеры конструктивных схем таких двигателей.



Рисунок 1 - Классификация коллинеарных ветродвигателей (ветротурбин) с механической передачей

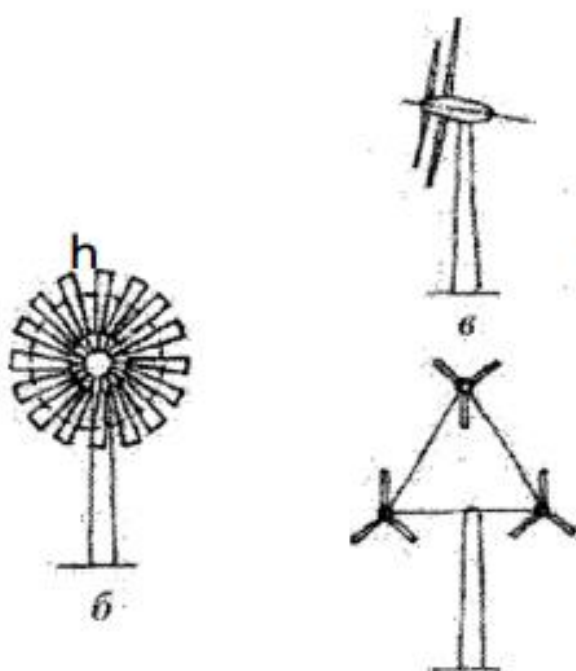


Рисунок 5 - Коллинеарные горизонтально-осевые ветродвигатели:
а - одноколесный малоллопастный; б - одноколесный многолопастный;
в - многоколесный одноосный; г - многоколесный многоосный;
д - ротор Флетнера

Коллинеарные горизонтально-осевые ветродвигатели могут использовать как подъемную силу, возникшую при обтекании крылового профиля (рис. 3, а - г), так и подъемную силу, на основе эффекта Магнуса при обтекании вращающегося цилиндра (рис. 3, д).

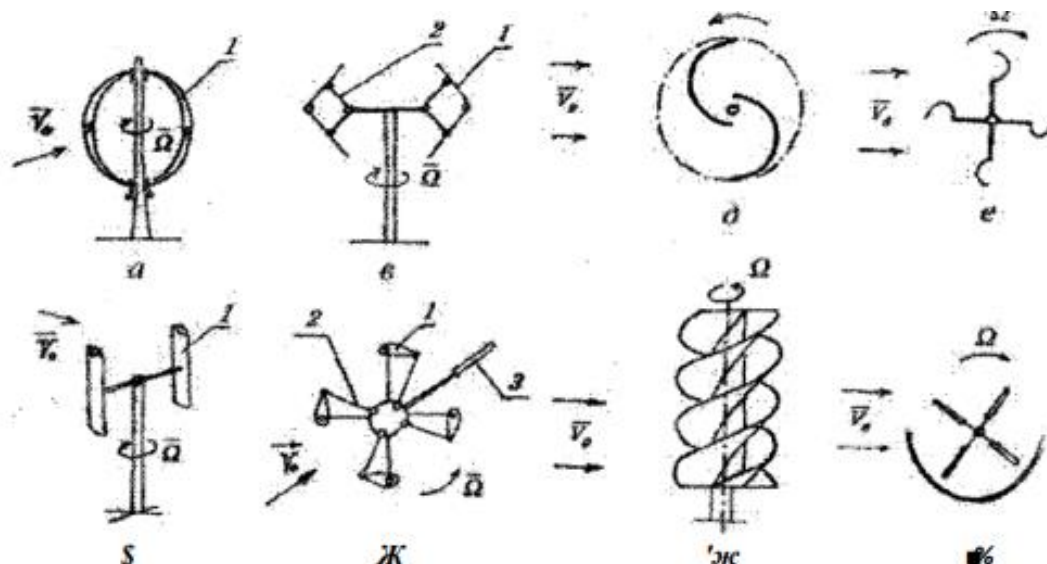


Рисунок 3 - Ортогональные вертикально-осевые ветродвигатели:

а - ротор Дарье; б - ротор Н-типа; в - ротор Масгроува (в полусложенном положении) с изменяемым положением лопастей; г - ротор «жиромилл» (вид сверху) с изменяемым углом установки лопастей; д - ротор Савонюса (вид сверху); е - ротор чашечный (анемометр, вид сверху); ж - ротор шнековый; з - ротор пластинчатый с экраном, карусельный (вид сверху); 1 - лопасть, 2 - механизм управления положением лопастей; 3 - флюгер

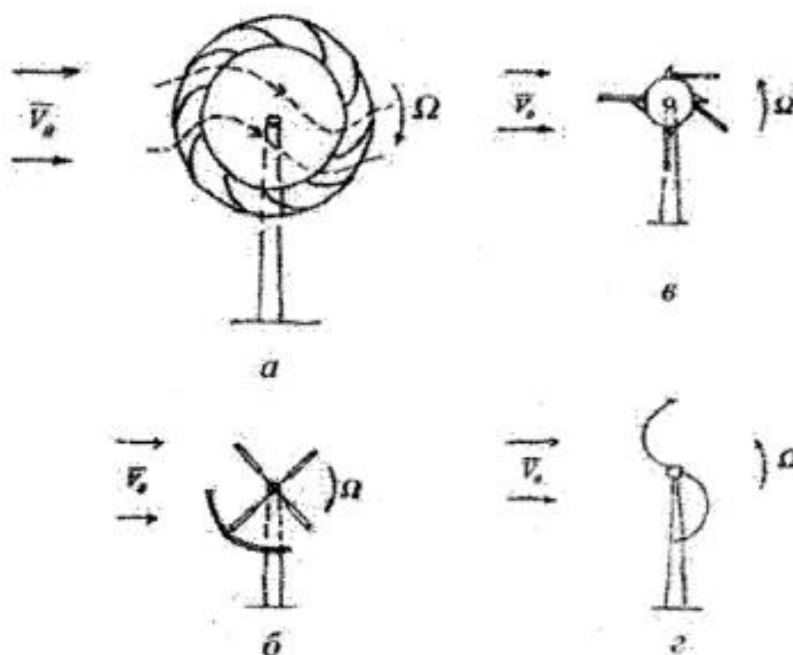


Рисунок 4- Ортогональные горизонтально-осевые ветродвигатели:

а - ротор Лафонда; б - ротор пластинчатый с экраном (барабанный); в - ротор с поворотными лопастями; г - ротор Савониуса

В ортогональных вертикально-осевых ветродвигателях используется подъемная сила, которая возникает при обтекании крылового профиля (рис. 4, а-г\ и сила аэродинамического сопротивления (рис. 4, д - з). В ортогональных горизонтально-осевых ветродвигателях используется подъемная сила (рис. 4, а) и сила аэродинамического сопротивления (рис. 4, б - г).

Список литературы

1. Е. М. Фатеев. Ветродвигатели и ветроустановки. - М.: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, 1948. - 544 с
2. Ветроэнергетика света / Зеленая энергетика. – 2006. – №2 (22). – С19.
3. Возобновляемая энергия в России: от возможности к реальности. –М.: ОЭСР/МЭА, 2004.
4. Неисчерпаемая энергия: Учебник / Кривцов В.С., Олейников А.М. и др. – Харьков: Высшая школа, 2003. – 400 с.
5. Неисчерпаемая энергия: Учебник / Кривцов В.С., Олейников А.М. и др. – Харьков: Высшая школа, 2004. – 505 с.
6. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для сред. проф. образования / Л. Д. Рожкова, Л. К. Карнеева, Т. В. Чиркова. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 448с.

РАЗЛИЧНЫЕ СПОСОБЫ ПЕРЕДАЧИ ВЕТРОВОЙ МОЩНОСТИ ПОТРЕБИТЕЛЮ

*Нуриев Ильсур Мухтарович, Башмаков Дмитрий Александрович,
Савицкий Сергей Константинович, Савицкая Наталья Николаевна,
Петров Кирилл Николаевич*

*Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ «Казанский (Приволжский)
федеральный университет» г.Набережные Челны*

Аннотация: В статье систематизированы и описаны различные способы передачи механической мощности от ветродвигателя к потребителю (например, электрогенератору). Рассмотрены четыре основных типа передач: механическая (с использованием мультипликатора и валов), гидравлическая (объемная), пневматическая (с использованием сжатого воздуха) и аэродинамическая (схема Уфимцева). Для каждого способа приведены структурные схемы, разобраны их преимущества, недостатки и ориентировочные значения КПД.

Ключевые слова: ветроустановка, передача мощности, механическая передача, гидравлическая передача, пневматическая передача, аэродинамическая передача, мультипликатор, КПД.

VARIOUS METHODS OF TRANSMITTING WIND POWER TO THE CONSUMER

*Nuriev Ilсур Mukhtarovich, Bashmakov Dmitry Alexandrovich,
Savitsky Sergey Konstantinovich, Savitskaya Natalya Nikolaevna,
Petrov Kirill Nikolaevich*

*Naberezhnye Chelny Institute (branch) of the Federal State Autonomous Educational
Institution "Kazan (Volga Region) Federal University" Naberezhnye Chelny*

Abstract: The article systematizes and describes various methods of transmitting mechanical power from a wind turbine to a consumer (e.g., an electric

generator). Four main types of transmission are considered: mechanical (using a multiplier and shafts), hydraulic (volumetric), pneumatic (using compressed air), and aerodynamic (Ufimtsev's scheme). Structural diagrams are provided for each method, and their advantages, disadvantages, and approximate efficiency values are analyzed.

Keywords: wind turbine, power transmission, mechanical transmission, hydraulic transmission, pneumatic transmission, aerodynamic transmission, multiplier, efficiency.

Механическая передача

Механическая передача мощности от ветродвигателя потребителю (рис. 1) является наиболее распространенной, поскольку достаточно проста в конструктивном отношении и обладает среди других способов передачи мощности наибольшим КПД, равным 0,85.. 0,95. Недостатком такой передачи является наличие повышающего редуктора (мультипликатора). В случае, если нагрузкой является электрогенератор, величина передаточного числа может находиться в диапазоне 40...70. Другой недостаток состоит в том, что колебания скорости ветрового потока, несмотря на сглаживающую инерционность ветроколеса, передаются на вал потребителя.

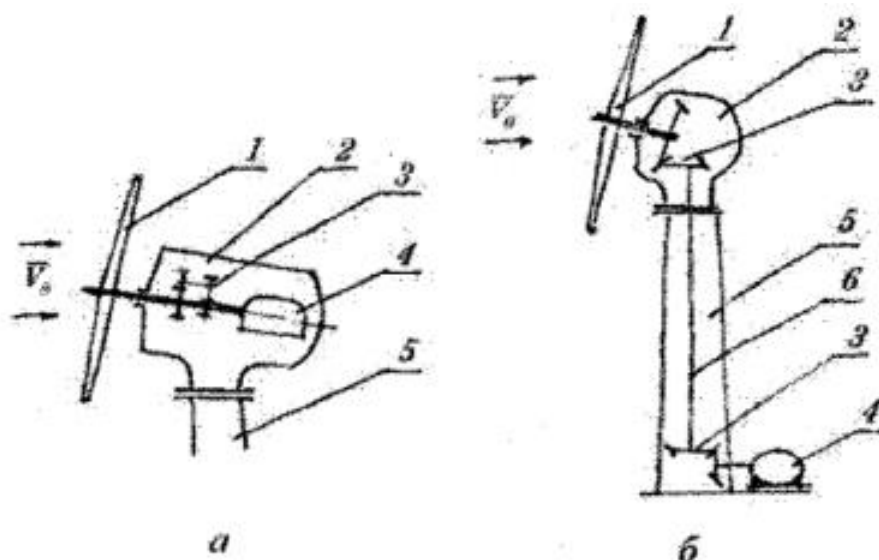


Рисунок 1 - Схемы механической передачи:

а - электрогенератор в гондоле; б - электрогенератор на земле; 1 - ветродвигатель; 2 - гондола; 3 - мультипликатор; 4 - электрогенератор; 5 - башня; 6 - вертикальный вал

Если электрогенератор находится в гондоле (рис. 8, д), то мультипликатор располагается там же, между ним и ветродвигателем. Если электрогенератор или какой-либо другой потребитель находятся на земле (рис. 9, б), используются два редуктора: один с коническими шестернями в гондоле, другой - на земле. Между ними находится вертикальный вал.

Гидравлическая передача

Схема гидравлической передачи допускает компоновку ветродвигателя и электрогенератора как в гондоле (рис. 2, а), так и Р^» дельно, с расположением электрогенератора на земле (рис. 2, б). Гидропередача может иметь различные конструктивные модификации, чаще всего это соединение механической передачи с небольшим передаточным отношением и гидропередачи.

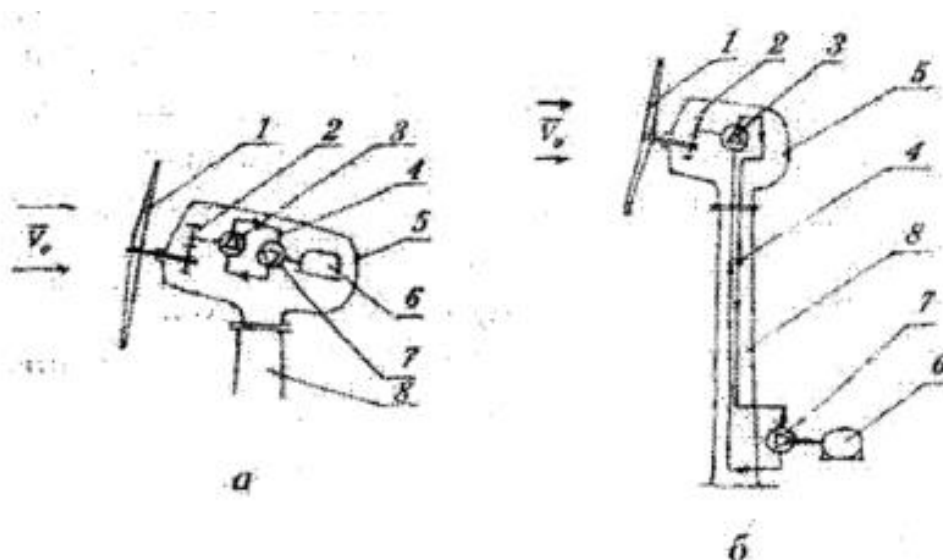


Рисунок 2 - Схемы гидравлической передачи;

а - неразделенная гидропередача, электрогенератор в гондоле; б - разделенная гидропередача, электрогенератор на земле; 1 - ветродвигатель; 2 - механическая передача; 3 - гидронасос; 4 - гидромагистраль; 5 - гондола; 6 - электрогенератор, 7 - гидромотор; 8 - башня

Известны два типа гидропередачи: гидродинамическая и гидростатическая (объемная). Гидродинамическая передача не нашла применения в ветроэнергетике, так как ее элементы (центробежный насос и радиально-осевая гидротурбина) должны работать при значительных частотах вращения. Кроме того, при изменении частоты вращения КПД такой гидропередачи значительно снижается. Более приемлема схема с объемной гидравлической передачей, состоящей из

гидронасоса и гидромотора (винтового или поршневого типа). За счет изменения рабочего объема гидромотора гидропередача допускает изменение частоты вращения. Гидропередача позволяет обеспечить торможение ветроколеса за счет дросселирования рабочей жидкости с соответствующим выделением теплоты, а также ограничить развиваемую на выходном валу мощность при возрастании скорости ветра выше расчетной. КПД неразделенной гидропередачи находится в диапазоне значений 0,85.. 0,95; для разделенной он меньше и равен 0,75.. 0,85.

Пневматическая передача

Пневматический способ передачи ветровой мощности к потребителю основан на принципе работы разделенной гидропередачи, при этом кинетическая энергия ветрового потока преобразуется ветродвигателем в потенциальную энергию перепада давления воздуха в пневмомагистрали.

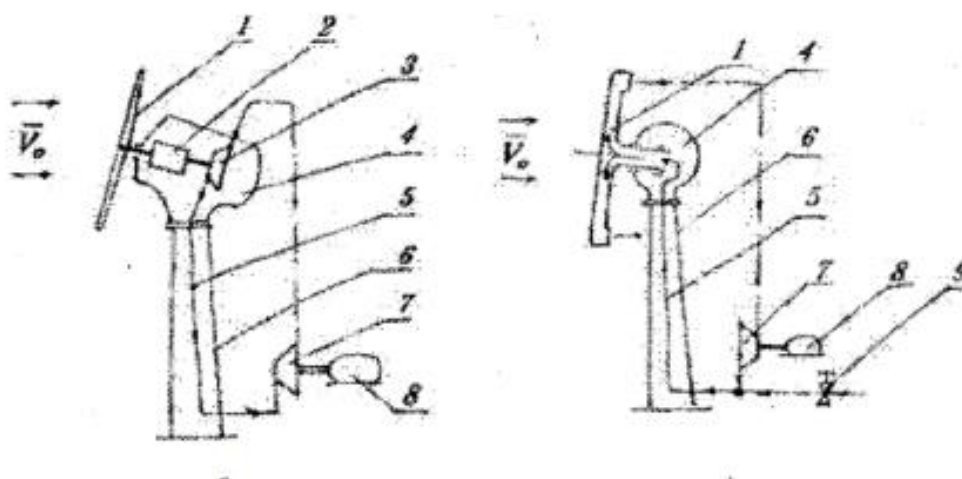


Рисунок 3 - Схемы пневматической передачи:

- а - с компрессором в гондоле; б - с ветродвигателем, имеющим полые лопасти;
1 - ветродвигатель; 2 - мультипликатор; 3 - компрессор; 4 - гондола; 5 - пневмомагистраль; 6 - башня; 7 - воздушная турбина; 8 - электрогенератор; 9 - дополнительный ввод воздуха

Возможны различные конструктивные схемы пневмопередачи, две из них приведены на рис. 4, а и б. Атмосфера является в пневмопередаче «возвращающей» магистралью. Преимущество таких схем заключается в том, что электромеханическое оборудование располагается на земле. Это открывает широкие возможности по созданию новых, нетрадиционных, комбинированных энергетических установок. Кроме того, пневмомагистраль гасит пульсации воздушного потока. В схеме пневмопередачи по рис. 4, а компрессор, находящийся в гондоле,

нагнетает по пневмомагистрالي сжатый воздух в наземную воздушную турбину, которая вращает электрогенератор. Одним из преимуществ этой схемы является возможность подачи сжатого воздуха в контур тепловой машины, например газотурбинного двигателя, в результате чего можно в термодинамическом цикле газотурбинной установки исключить затраты мощности на сжатие воздуха. В схеме пневмопередачи на рис. 4, 6 (схема Ж.Э. Андро) ветродвигатель имеет полые лопасти, лопастная система ветродвигателя выполняет функцию компрессора, прокачивая через себя атмосферный воздух. В пневмомагистрالي создается разрежение, что дает возможность работать наземной воздушной турбине. Преимуществами схемы Андро являются: отсутствие мультипликатора; возможность более легкого запуска свободно вращающегося колеса; регулирование ветродвигателя поворотом соплового аппарата воздушной турбины или дополнительным вводом воздуха в пневмомагистраль за турбиной. Негативным фактором, препятствующим широкому внедрению пневмопередачи, является пониженное значения ее КПД - около 0,50...0,55. Использование пневмопередачи в различных комбинированных ВЭУ позволяет ослабить влияние этого фактора. Наиболее значительной потерей в схеме Андро является потеря кинетической энергии струй, выходящих из периферийных устройств полых лопастей. Утилизировать эту потерю можно различными способами, например, используя атмосферный диффузор.

Аэродинамическая передача

Аэродинамической передачей в отечественной литературе называют схему, предложенную русским исследователем А.Г. Уфимцевым.

В таком ветроагрегате (рис.4) на концах лопастей основного ветроколеса находятся вторичные ветроагрегаты (ветродвигатель и электрогенератор). Ветродвигатели вторичных ветроагрегатов обтекаются набегающим потоком воздуха, имеющим скорость существенно большую, чем скорость атмосферного ветра. В результате вторичные ветроагрегаты могут иметь увеличенную частоту вращения, что позволяет не использовать мультипликатор. На рис. 4 изображены двухколесные вторичные ветродвигатели.

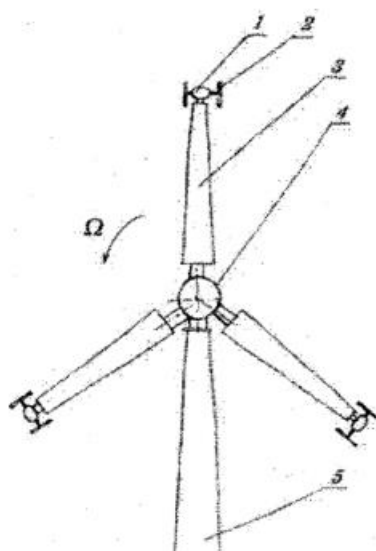


Рисунок 4 - Схема аэродинамической передачи:

- 1 - электрогенератор;
- 2 - вторичные ветродвигатели;
- 3 - основной ветродвигатель;
- 4 - гондола; 5 - башня

Несмотря на отсутствие электромеханического оборудования в гондоле, значительное конструктивное усложнение ветроколеса тормозит использование этой схемы передачи.

Список литературы

1. Фатеев Е. М.. Ветродвигатели и ветроустановки. - М.: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, 1948. - 544 с
2. Ветроэнергетика света / Зеленая энергетика. – 2006. – №2 (22). – С19.
3. Возобновляемая энергия в России: от возможности к реальности. –М.: ОЭСР/МЭА, 2004.
4. Неисчерпаемая энергия: Учебник / Кривцов В.С., Олейников А.М. и др. – Харьков: Высшая школа, 2003. – 400 с.
5. Неисчерпаемая энергия: Учебник / Кривцов В.С., Олейников А.М. и др. – Харьков: Высшая школа, 2004. – 505 с.
6. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для сред. проф. образования / Л. Д. Рожкова, Л. К. Карнеева, Т. В. Чиркова. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 448с.

ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЕТРОДВИГАТЕЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

*Нуриев Ильсур Мухтарович, Башмаков Дмитрий Александрович,
Савицкий Сергей Константинович, Савицкая Наталья Николаевна,*

Петров Кирилл Николаевич

*Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ «Казанский (Приволжский)
федеральный университет» г.Набережные Челны*

Аннотация: Проведено сравнительное исследование двух основных типов ветродвигателей: горизонтально-осевых (пропеллерных) и вертикально-осевых (ортогональных). Выявлены их ключевые преимущества и недостатки. Горизонтально-осевые характеризуются более высоким коэффициентом использования энергии ветра и быстроходностью, но требуют систему ориентации на ветер. Вертикально-осевые не зависят от направления ветра и позволяют размещать оборудование на земле, но имеют меньший КПД. Приведены графики зависимости коэффициента использования энергии ветра и крутящего момента от быстроходности для различных конструкций.

Ключевые слова: горизонтально-осевой ветродвигатель, вертикально-осевой ветродвигатель, коэффициент использования энергии ветра, коэффициент быстроходности, крутящий момент, сравнительный анализ.

MAIN FEATURES OF DIFFERENT TYPES OF WIND TURBINES

*Nuriev Ilсур Mukhtarovich, Bashmakov Dmitry Alexandrovich,
Savitsky Sergey Konstantinovich, Savitskaya Natalya Nikolaevna,
Petrov Kirill Nikolaevich*

*Naberezhnye Chelny Institute (branch) of the Federal State Autonomous Educational
Institution "Kazan (Volga Region) Federal University" Naberezhnye Chelny*

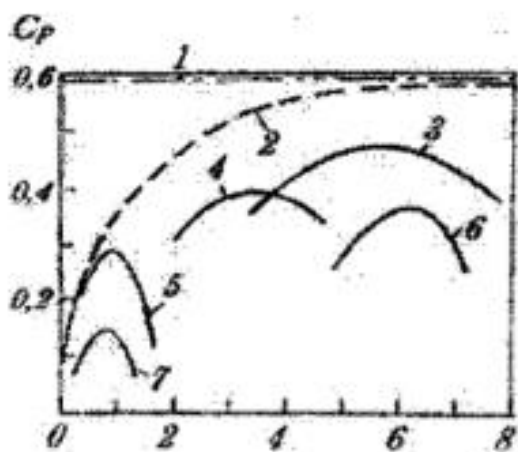
Abstract: A comparative study of the two main types of wind turbines is conducted: horizontal-axis (propeller) and vertical-axis (orthogonal). Their key

advantages and disadvantages are identified. Horizontal-axis turbines are characterized by a higher power coefficient and speed, but require a wind orientation system. Vertical-axis turbines are independent of wind direction and allow equipment to be placed on the ground, but have lower efficiency. Graphs of the dependence of the power coefficient and torque on the tip-speed ratio for various designs are presented.

Keywords: horizontal-axis wind turbine, vertical-axis wind turbine, power coefficient, tip-speed ratio, torque, comparative analysis.

Несмотря на многообразие теоретически возможных и практически реализованных схем ВЭУ, современные ветроагрегаты независимо от уровня мощности являются либо пропеллерными горизонтально-осевыми, либо ортогональными вертикально-осевыми ветродвигателями (использующими подъемную силу на лопастях), поскольку именно эти два типа ветродвигателя обладают наиболее высокими технико-экономическими показателями. Горизонтально-осевые ветродвигатели по сравнению с вертикально-осевыми имеют следующие преимущества: возможность самостоятельного пуска без вспомогательного привода за счет изменения угла установки лопастей; большее значение коэффициента использования энергии ветра; большее значение коэффициента быстроходности X и, как следствие этого, большую частоту вращения ветродвигателя, что позволяет уменьшить массогабаритные показатели электромеханического оборудования; исключение необходимости в угловой передаче крутящего момента. К основному недостатку пропеллерных горизонтально-осевых двигателей следует отнести необходимость в устройстве ориентации на направление ветра. Ортогональные вертикально-осевые двигатели по сравнению с пропеллерными горизонтально-осевыми обладают следующими преимуществами: независимостью функционирования от направления ветрового потока, что устраняет необходимость ориентирования ветродвигателя на это направление; вертикальным валом, позволяющим размещать электромеханическое оборудование у основания ВЭУ, что снижает

требования к прочности и жесткости опоры, не ограничивает массогабаритные показатели оборудования, упрощает техническое обслуживание и ремонт; возможностью крепления лопастей к ротору в нескольких местах, что снижает требования по прочности и жесткости лопасти; меньшим значением окружной скорости лопасти из-за меньших значений коэффициента быстроходности X ; относительной простотой изготовления лопастей. К числу недостатков вертикально-осевых ветродвигателей следует отнести: меньший коэффициент использования энергии ветра; меньшую быстроходность. Отметим, что ветроустановки, использующие подъемную силу, имеют окружную скорость концов лопастей больше скорости ветра (коэффициент быстроходности X лежит в диапазоне значений 2...10). Ветроустановки, использующие силу аэродинамического сопротивления, вращаются с линейной скоростью концов лопастной системы, меньшей скорости ветра. Общее представление, о соотносительных значениях коэффициента использования энергии ветра C_P для различных ветроустановок дает рис. 1.

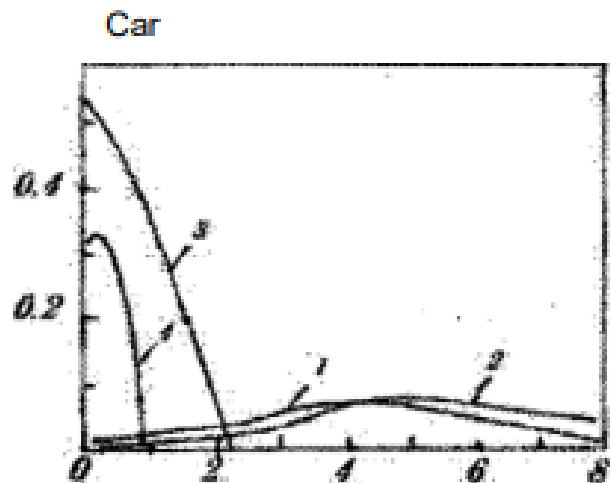


Ж

Рисунок 1 - Зависимость коэффициента использования энергии ветра C_P от коэффициента быстроходности X :
 1 - критерий Жуковского-Бетца; 2 - идеальный ветродвигатель Глауэрта; 3 - двухлопастное горизонтально-осевое ветроколесо; 4 - трехлопастное; 5 - многолопастное; 6 - вертикально-осевое ветроколесо Дарье; 7 - ротор Савониуса

Рисунок 2 - Зависимость коэффициента крутящего момента C_m от коэффициента быстроходности X :

1 - двухлопастное горизонтально-осевое ветроколесо; 2 - трехлопастное; 3 - многолопастное; 4 - ротор Савониуса



Важной характеристикой ветродвигателя является развиваемый им крутящий момент. Из рис. 2 видно, что наибольший крутящий момент создают многолопастные горизонтально-осевые ветродвигатели (с числом лопастей 12...36) и ротор Савониуса. Это существенно в случае привода поршневых насосов, требующих увеличенный пусковой момент. Малолопастные горизонтальноосевые ветродвигатели имеют наименьшее значение относительного момента, но они быстроходны, и поэтому требуют мультипликатор с меньшим передаточным числом.

Список литературы

1. Е. М. Фатеев. Ветродвигатели и ветроустановки. - М.: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, 1948. - 544 с
2. Ветроэнергетика света / Зеленая энергетика. – 2006. – №2 (22). – С19.
3. Возобновляемая энергия в России: от возможности к реальности. –М.: ОЭСР/МЭА, 2004.
4. Неисчерпаемая энергия: Учебник / Кривцов В.С., Олейников А.М. и др. – Харьков: Высшая школа, 2003. – 400 с.
5. Неисчерпаемая энергия: Учебник / Кривцов В.С., Олейников А.М. и др. – Харьков: Высшая школа, 2004. – 505 с.
6. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для сред. проф. образования / Л. Д. Рожкова, Л. К. Карнеева, Т. В. Чиркова. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 448с.

СПОСОБЫ УВЕЛИЧЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВЕТРОДВИГАТЕЛЯ С АТМОСФЕРНЫМ ВОЗДУШНЫМ ПОТОКОМ

*Нуриев Ильсур Мухтарович, Башмаков Дмитрий Александрович,
Савицкий Сергей Константинович, Савицкая Наталья Николаевна,
Петров Кирилл Николаевич*

*Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ «Казанский (Приволжский)
федеральный университет» г.Набережные Челны*

Аннотация: Статья посвящена методам интенсификации энергообмена между ветродвигателем и воздушным потоком для повышения его эффективности. Рассмотрены два перспективных направления: использование концентраторов потока и вихревых структур. Описаны схемы и принципы работы ветроустановок с атмосферными диффузорами, конфузорами, комбинированными воздуховодами, а также с торнадо-башней, создающей закрученный поток. Показано, что такие решения позволяют увеличить скорость потока перед ветроколесом и привлечь дополнительную массу воздуха, существенно повышая коэффициент использования энергии ветра.

Ключевые слова: аэродинамика ветродвигателя, концентратор потока, диффузор, конфузор, вихревая структура, торнадо-башня, коэффициент использования энергии ветра.

METHODS FOR INCREASING THE AERODYNAMIC INTERACTION OF A WIND TURBINE WITH THE ATMOSPHERIC AIR FLOW

*Nuriev Ilсур Mukhtarovich, Bashmakov Dmitry Alexandrovich,
Savitsky Sergey Konstantinovich, Savitskaya Natalya Nikolaevna,
Petrov Kirill Nikolaevich*

*Naberezhnye Chelny Institute (branch) of the Federal State Autonomous Educational
Institution "Kazan (Volga Region) Federal University" Naberezhnye Chelny*

Abstract: The article is devoted to methods of intensifying the energy exchange between a wind turbine and the air flow to increase its efficiency. Two promising directions are considered: the use of flow concentrators and vortex structures. The schemes and principles of operation of wind turbines with atmospheric diffusers, confusers, combined air ducts, as well as with a tornado tower that creates a swirling flow are described. It is shown that such solutions make it possible to increase the flow velocity in front of the wind wheel and attract an additional mass of air, significantly increasing the power coefficient.

Keywords: wind turbine aerodynamics, flow concentrator, diffuser, confuser, vortex structure, tornado tower, power coefficient.

Использование концентраторов воздушного потока

Этот способ обычно предлагается применять для горизонтально-осевых ветродвигателей. Известно, что в идеальном случае в свободном атмосферном потоке ветродвигатель может преобразовать в механическую мощность не более $16/27$ кинетической энергии набегающей воздушной струи, которая имеет перед ветродвигателем площадь поперечного сечения, равную площади, ометаемой его лопастной системой. Различными конструктивными устройствами можно увеличить аэродинамическое взаимодействие ветродвигателя с атмосферным воздушным потоком, если прямо или опосредственно заставить взаимодействовать с лопастной системой ветроколеса дополнительно массу воздушного потока, окружающего струю, проходящую через ветродвигатель. Тем самым в энергетическое взаимодействие с ветроколесом привлекается кинетическая энергия воздушного потока, окружающего ветродвигатель. Физически усиление аэродинамического взаимодействия происходит как за счет увеличения количества воздуха, проходящего через ветроколесо, так и за счет увеличения перепада статического давления на ветроколесе. В качестве концентраторов воздушного потока возможно использование различных воздухопроводных устройств: воздухоотводящих (атмосферный диффузор), рис. 15 а, б; воздухоподводящих (воздухоприемный конфузор), рис. 15, в;

комбинированных воздуховодных, рис. 1, г. Практическое применение нашли ветроустановки с использованием атмосферных диффузоров. На рис. 15, а показана схема диффузора традиционного типа с щелевым вдувом наружного атмосферного воздуха на внутреннюю стенку диффузора для предотвращения возникающего отрыва потока. Такой вдув позволяет увеличить угол раскрытия диффузора, т. е. сократить его длину.

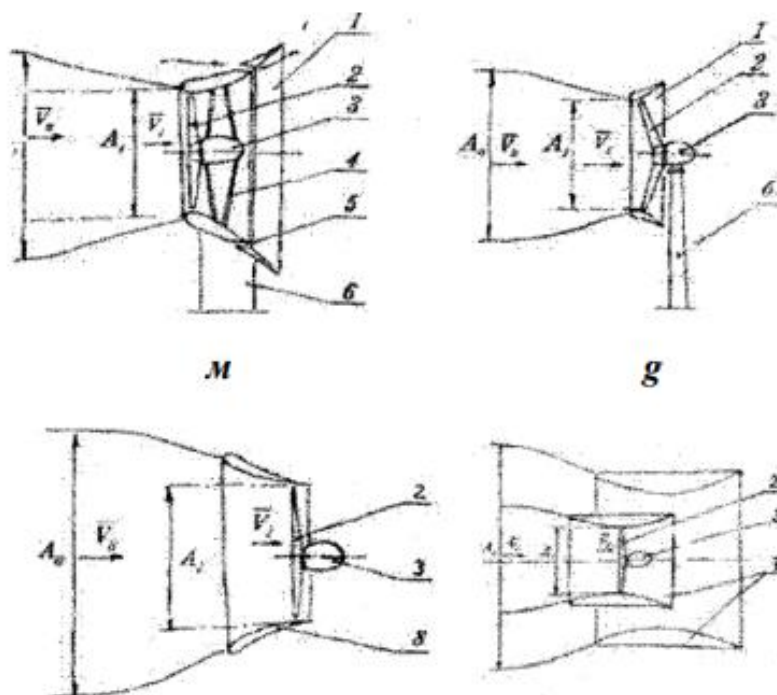


Рисунок 1 - Схемы горизонтально-осевых ветродвигателей с воздуховодными устройствами:

а - с атмосферным диффузором с щелевым вдувом; б - с диффузорным кожухом из крылового профиля; в - с воздухоподводящим конфузором; 2-е комбинированным воздуховодным устройством; 1 - диффузор; 2 - ветроколесо; 3 - гондола; 4 - силовые стойки; 5 - щелевой вдув; 6 - опорное устройство; 7 - труба Вентури; 8 – конфузор

Атмосферный дозвуковой диффузор характерен тем, что статическое давление при выходе из него не может превысить атмосферное давление. Однако создаваемое им разрежение за ветроколесом приводит к росту скорости от V_0 в сечений далеко перед диффузором до скорости V в сечении перед ветроколесом. Это увеличение скорости в зависимости от гидравлических потерь в диффузоре может достигать значений 1,5...1,8. В результате

увеличивается расход воздуха через ветродвигатель и перепад давления на ветроколесе, а коэффициент использования энергии ветра C_P может достигать значения 1,0...1,5, что превышает критерий Жуковского-Бетца для ветродвигателя без диффузора в 2-3 раза. Другим типом атмосферного диффузора является наружный кожух с крыловым профилем поперечного сечения (см. рис. 1, б). Эффективность такого устройства меньше, чем предыдущего, но конструктивные проблемы решаются значительно проще. Очевидные преимущества использования диффузора - это уменьшение диаметра ветроколеса и возможность использования ВЭУ в регионах с пониженными среднегодовыми скоростями ветра. Кроме того, наличие кожуха вокруг ветроколеса увеличивает его КПД за счет исчезновения концевых потерь от сходящих с концов лопастей вихревых шнуров. Недостатки атмосферного диффузора: возникновение в нем отрыва потока (снижение эффективности) при увеличении угла натекания потока воздуха на диффузор свыше 10...15; увеличение осевого усилия на башню; усложнение ВЭУ. На рис. 1, в показана схема горизонтально-осевого ветродвигателя с воздухоподводящим диффузором. В этом случае происходит захват ветроколесом дополнительной массы воздуха в результате воздействия на ветродвигатель перепада давления от скоростного напора набегающего потока. На рис. 1, г изображена схема горизонтально-осевого ветродвигателя с комбинированным воздуховодным устройством с использованием двух коаксиальных труб Вентури. В минимальном сечении такой трубы возникает максимальное разрежение. Во внутренней трубе Вентури в месте максимального разрежения располагается ветроколесо, а во внешней трубе Вентури в минимальном сечении находится выходное сечение внутренней трубы. Таким образом, появляется возможность увеличить мощность ветродвигателя, используя дополнительный перепад давления на ветроколесе.

Использование вихревых структур

Для увеличения взаимодействия ветродвигателя и воздушного потока возможно использование вихревых структур, создаваемых как в свободной

атмосфере, так и в специальных каналах. Такие генераторы закрученного потока подобны по своим свойствам природному смерчу, обладающему значительным запасом кинетической энергии. Одной из наиболее разработанных конструкций ВЭУ с вихревыми структурами, ограниченными стенками, является вертикально-осевой пропеллерный ветродвигатель, над которым расположена торнадо-башня (рис. 2). Поток воздуха, закручиваясь, входит внутрь башни через регулируемые направляющие лопасти. В приосевой зоне вихря возникают значительное разрежение и большие угловые скорости, что вызывает подсос дополнительных масс воздуха из окружающей среды. В результате скорость перед ветроколесом значительно превышает скорость атмосферного потока, а за самим ветроколесом создается значительное разрежение.

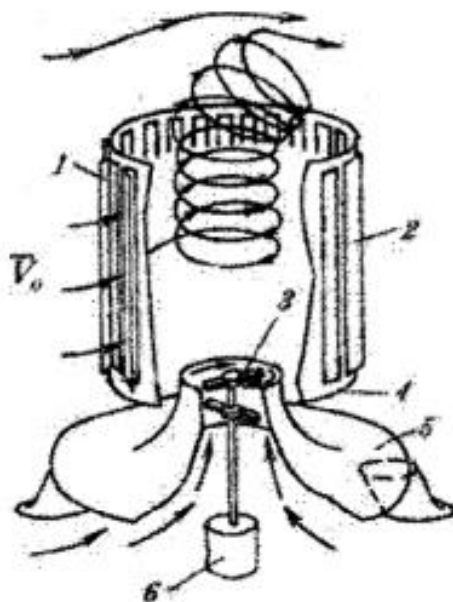


Рисунок 2 - Схема вертикально-осевого ветродвигателя с торнадо-башней: 1 - регулирующие вертикальные открытые жалюзи; 2 - закрытые жалюзи; 3 - ветротурбина; 4 - вертикальная башня; 5 - подводящее опорное устройство; 6 – электрогенератор

Способность вихревых структур концентрировать в своей осевой части энергию из окружающего пространства позволяет использовать такие ВЭУ в регионах с низкими скоростями ветра. В рассмотренной схеме ВЭУ отпадает также необходимость в установке ветродвигателя на направление ветра.

Список литературы

1. Е. М. Фатеев. Ветродвигатели и ветроустановки. - М.: Государственное

издательство сельскохозяйственной литературы, 1948. - 544 с

2. Ветроэнергетика света / Зеленая энергетика. – 2006. – №2 (22). – С19.
3. Возобновляемая энергия в России: от возможности к реальности. –М.: ОЭСР/МЭА, 2004.
4. Неисчерпаемая энергия: Учебник / Кривцов В.С., Олейников А.М. и др. – Харьков: Высшая школа, 2003. – 400 с.
5. Неисчерпаемая энергия: Учебник / Кривцов В.С., Олейников А.М. и др. – Харьков: Высшая школа, 2004. – 505 с.
6. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для сред. проф. образования / Л. Д. Рожкова, Л. К. Карнеева, Т. В. Чиркова. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 448с.

СПОСОБЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ (УПРАВЛЕНИЯ) ВЕТРОДВИГАТЕЛЕЙ

*Нуриев Ильсур Мухтарович, Башмаков Дмитрий Александрович,
Савицкий Сергей Константинович, Савицкая Наталья Николаевна,*

Петров Кирилл Николаевич

*Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ «Казанский (Приволжский)
федеральный университет» г.Набережные Челны*

Аннотация: В статье детально рассмотрены системы и методы регулирования работы ветроэнергетических установок (ВЭУ). Описаны способы ориентации горизонтально-осевых ВЭУ на направление ветра (активные и пассивные). Основное внимание уделено методам ограничения мощности и частоты вращения при скоростях ветра выше номинальной: поворот лопастей (pitch regulation), аэродинамическое торможение срывом потока (stall regulation), вывод ветроколеса из-под потока (yaw control). Для вертикально-осевых ветродвигателей также приведены методы регулирования. В заключение систематизированы преимущества и недостатки ветрогенераторов как источника энергии.

Ключевые слова: регулирование ветродвигателя, ориентация на ветер, поворот лопасти, stall regulation, pitch regulation, аэродинамическое торможение, гироскопический момент.

METHODS OF REGULATION (CONTROL) OF WIND TURBINES

*Nuriev Ilсур Mukhtarovich, Bashmakov Dmitry Alexandrovich,
Savitsky Sergey Konstantinovich, Savitskaya Natalya Nikolaevna,*

Petrov Kirill Nikolaevich

*Naberezhnye Chelny Institute (branch) of the Federal State Autonomous Educational
Institution "Kazan (Volga Region) Federal University" Naberezhnye Chelny*

Abstract: The article details the systems and methods for regulating the operation of wind turbines. Methods for orienting horizontal-axis wind turbines to the wind direction (active and passive) are described. The main focus is on methods for limiting power and rotational speed at wind speeds above the nominal value: blade pitching (pitch regulation), aerodynamic stall regulation (stall regulation), and yawing the rotor out of the wind (yaw control). Regulation methods for vertical-axis wind turbines are also presented. In conclusion, the advantages and disadvantages of wind generators as an energy source are systematized.

Keywords: wind turbine control, wind orientation, blade pitching, stall regulation, pitch regulation, aerodynamic braking, gyroscopic moment.

Особенности управления работой ветродвигателей

Для любых мощностей, типов и конструкций ветроустановок требуется их функционирование на следующих режимах работы: пуск, генерирование мощности, торможение (как штатное, так и аварийное), останов. В том или ином виде это обеспечивается системой управления, регулирования, контроля и защиты механических и электрических параметров ветроустановки. В зависимости от мощности и типа ветроустановки эта система может быть весьма сложной или чрезвычайно простой, автоматизированной или нет. Структура системы определяется, в частности, способом, законом и программой регулирования ветроустановки. Управление горизонтально-осевым двигателем включает в себя процесс ориентации оси ротора ветродвигателя на направление ветра и собственно процесс регулирования параметров ветродвигателя (частота вращения, мощность). Управление вертикально-осевым ветродвигателем не требует ориентации на направление ветра, а требует только регулирования параметров ветродвигателя. Способы регулирования (управления) такими параметрами, как частота вращения и мощность ветродвигателя, сводятся к следующим основным схемам: поворот лопасти (или ее части) вокруг вертикальной оси; пропуск ветрового потока мимо ветродвигателя; введение дополнительного аэродинамического или механического сопротивления на ветродвигателе. Следует отметить еще раз, что на участке

энергетической характеристики (см. рис. 3) от момента начала генерирования мощности до момента достижения расчетной скорости ветра, регулирование ветродвигателя, как правило, не осуществляется. Процесс регулирования, т. е. ограничение мощности ветродвигателя на номинальном уровне с ростом скорости ветра, происходит, как правило, в диапазоне скоростей ветра от расчетной до максимальной.

Ориентация горизонтально-осевого ветродвигателя на направление ветра

Особенности и требования к системе ориентации. Различают два типа системы ориентации ротора горизонтально-осевых ветродвигателей на направление ветра: активную самоориентацию (за счет взаимодействия элементов ветроустановки с ветровым потоком), применяемую на ветроустановках малой и иногда средней мощности; пассивную (за счет внешнего приводного устройства), применяемую на ветроустановках средней и большой мощности. Основные требования к системе ориентации ветроустановок на направление ветра следующие. Точность ориентации должна быть на менее $4...5^\circ$, ибо при отклонении в 5° потеря мощности может быть до 10 %. Скорость поворота гондолы (головки) не должна превышать 0,2...0,3 об/мин, чтобы не вызывать чрезмерного гироскопического момента где J - момент инерции ротора; $\dot{\varphi}$ - угловые скорости вращения ветродвигателя и поворота гондолы. При всех режимах работы должна соблюдаться устойчивость положения гондолы в потоке, т. е. ориентация должна выполняться только при существенном и относительно долговременном изменении направления ветра, а не при случайных его пульсациях. Активная система ориентации. Активная система ориентации осуществляется следующими способами: хвостовым оперением (рис. 1, а); виндрозами (поворотными ветрячками, рис. 1, б); расположением ветродвигателя за башней (рис. 1, в).

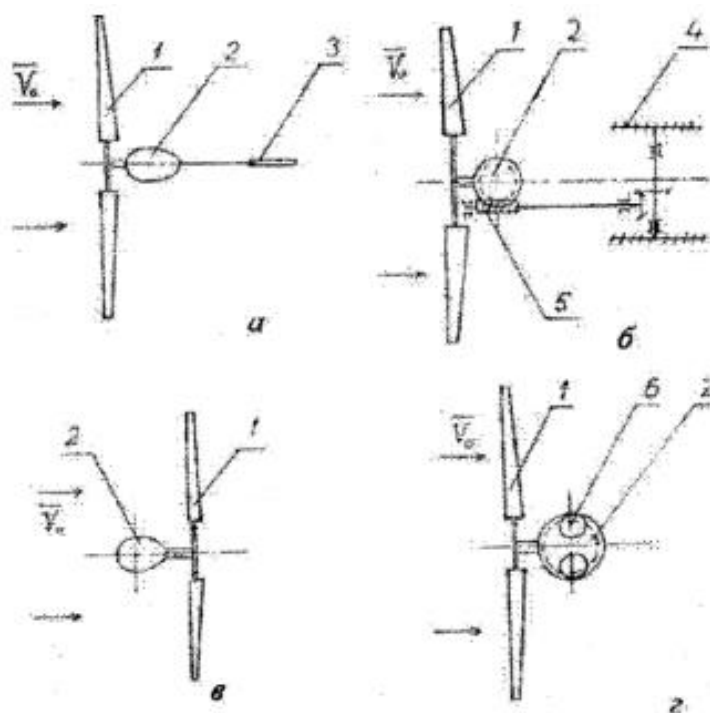


Рисунок 1 - Схемы устройств ориентации горизонтально-осевых ветродвигателей на направление ветра (вид сверху): а - при помощи хвостового оперения; б - при помощи виндроз; в - расположением за башней; г - при помощи электромеханического привода; 1 - лопасть; 2 - гондола; 3 - хвост; 4 - виндроza; 5 - червячное зацепление; 6- шестерня электромеханического привода

Ориентация при помощи флюгера («хвоста») отличается большой точностью, простотой конструкции, но имеет повышенную скорость поворачивания головки, увеличивает ее вес, усложняет уравнивание.

Ориентация при помощи виндроз основана на том, что пока направление скорости ветра параллельно плоскости их вращения (оси ветродвигателя), виндросы неподвижны. Они представляют собой небольшие ветроколеса, расположенные перпендикулярно к плоскости вращения основного ветроколеса. При направлении ветра под углом к оси ветродвигателя, на лопастях виндроз возникает крутящий момент, и они начинают вращаться. Через механизм конических шестерен и червячной пары вращение передается на систему поворота головки ветродвигателя, пока она не встанет параллельно ветру, после чего вращение виндроз прекращается. Эту систему ориентации характеризует компактность, небольшие скорости поворота головки, высокая чувствительность, но конструкция ветроустановки усложняется. Ориентация при помощи расположения ветродвигателя за вертикальной осью его поворота основана на том, что вращающееся ветроколесо играет как бы роль флюгера, и при этом специальный механизм ориентации отсутствует. Эта схема ориентации характеризуется повышенной скоростью поворота головки, т.е. увеличением

гироскопического момента, неустойчивостью ее положения в потоке, воздействием аэродинамического следа от башни на лопасти при их вращении.

Пассивная система ориентации.

Приводная (пассивная) система ориентации гондолы ветродвигателя на направление ветра используется на всех современных ветроустановках мощностью более 100 кВт (рис. 1, г). Обычно используется сдвоенный электромеханический привод из двух электродвигателей, соединенных с шестеренчатыми редукторами. Сдвоенный привод обеспечивает большую жесткость между зубьями шестеренчатого колеса на опоре (башне) и на гондоле, что необходимо для уменьшения вибрации. Еще большую контактную жесткость обеспечивает гидропривод. Сигнал на начало и окончание вращения поступает от специальных устройств, измеряющих направление и скорость ветра и расположенных наверху гондолы, на ее подветренной стороне.

Регулирование горизонтально-осевого ветродвигателя

Регулирование горизонтально-осевого ветродвигателя поворотом лопасти. Поворот лопасти (или ее периферийной части) как способ регулирования ветродвигателя является одним из наиболее употребительных для ветродвигателей малой и средней мощности. Однако для ветроагрегатов мегаваттного уровня мощности механизм поворота становится сложным и громоздким. Регулирование ветроагрегатов большой мощности чаще всего осуществляется посредством предусмотренного расчетом срыва потока с неповоротной лопасти.

У ветродвигателей средних мощностей поворот лопастей выполняется механизмами с электрическим или гидравлическим приводом, размещаемыми в башне. Сигналом для такого поворота служит информация об изменении скорости ветра, частоты вращения, крутящего момента.

У ветродвигателей малых мощностей поворот лопасти осуществляется за счет воздействия ветрового потока на лопасть (аэродинамические системы регулирования различных модификаций) и воздействия центробежных сил как самой лопасти, так и специальных грузов, устанавливаемых либо на самой лопасти, либо на главном валу ветродвигателя (центробежные системы регулирования различных модификаций).

Дополнительно на валу ветродвигателя может находиться пружина, которая через систему рычагов воздействует на положение лопасти.

При совместном использовании сил ветрового и центробежного воздействия образуются центробежно-аэродинамические системы регулирования.

На рис. 2 схематически изображены силы и моменты, действующие на лопасть относительно ее продольной оси вращения, проходящей через точку O . Центробежные силы, действующие на вращающуюся лопасть, имеют составляющую $F_{цг}^*$, которая создает момент $M_{цг}$ центробежных сил лопасти, стремящейся повернуть лопасть в плоскость τ вращения ветроколеса. Аэродинамическая сила L , приложенная в центре давления профиля A и перпендикулярная относительной скорости потока \vec{W} , натекающего на лопасть, создает момент M_a аэродинамических сил. Момент M_a аэродинамических сил стремится повернуть лопасть во флюгерное положение, в плоскость оси вращения ветроколеса.

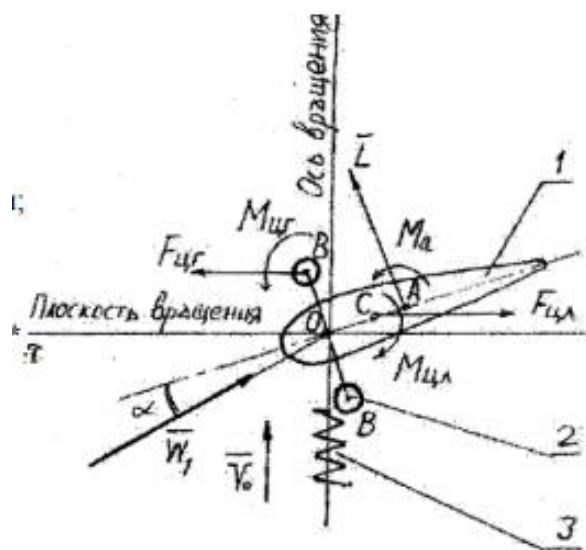


Рисунок 2 - Изображение моментов сил, действующих на вращающуюся лопасть ветродвигателя:
1 - профиль лопасти; 2 - компенсирующие грузы; 3 – пружина

Дополнительно на жесткой связи OB с осью поворота лопасти могут располагаться компенсирующие грузы B . Возникающая при вращении лопасти центробежная сила $F_{цг}^*$ этих грузов создает момент $M_{цг}^*$ от которого компенсирующий груз стремится встать в плоскость τ вращения ветроколеса. Тем самым компенсируется (или перекомпенсируется) действие момента центробежных сил лопасти.

В зависимости от совместного воздействия на лопасть моментов $M_{Л9}$ M_t , M_f и пружины (на рис. 2 система ее рычагов не показана) может быть разработана та или иная система регулирования.

В англоязычной терминологии регулирование поворотом лопасти именуется «pitch regulation».

Регулирование горизонтально-осевого ветродвигателя введением
дополнительного сопротивления на роторе

Современные ветроустановки большой мощности регулируются методом заранее рассчитанного (при увеличении скорости ветра и соответственно при увеличении угла атаки α) срыва потока с определенных участков лопасти, жестко закрепленной на роторе. В отечественной литературе ранее использовался термин «аэродинамическое саморегулирование», в современной англоязычной терминологии это «stall regulation». Для реализации этого метода регулирования необходим специальный профиль лопасти, который должен обладать следующим свойством: при увеличении скорости ветра срыв потока с профиля лопасти должен начинаться с кормы профиля, а затем область срыва должна монотонно увеличиваться и продвигаться к передней части профиля. В результате зависимость коэффициента подъемной силы C_L от угла атаки α будет иметь вид кривой 1 на рис. 3. Прекращение роста коэффициента C_L с ростом угла атаки α ограничивает рост мощности ветродвигателя и сохраняет его значение на достаточно постоянном уровне (см. рис. 3, я, кривая 3). У традиционных крыловых профилей зависимость C_L от α подобна кривой 2 на рис. 19, что приводит к снижению мощности с ростом скорости ветра в случае их использования для аэродинамического саморегулирования.

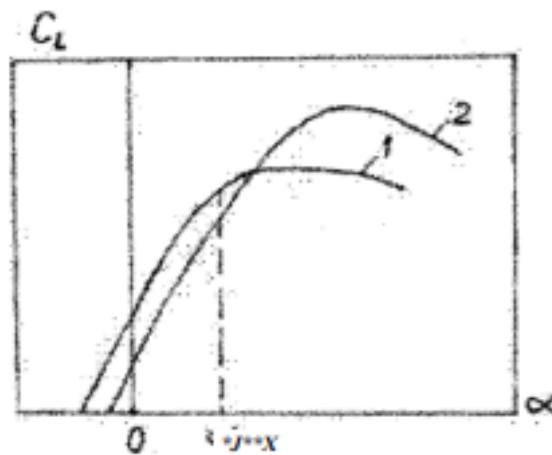


Рисунок 3 - Зависимость коэффициента подъемной силы C_L от угла атаки α : 1 - профиль, используемый для регулирования срывом потока; 2 - традиционный крыловой профиль

Следует отметить, что регулирование срывом потока с лопасти применяется на ВЭУ большой мощности с асинхронным генератором. Частота вращения электрогенератора определяется зависимостью крутящего момента электрогенератора от оборотов. На двигателях малой мощности можно встретить регулирование при помощи установки на конце лопасти нескольких небольших тормозных поверхностей (открылков), аэродинамически тормозящих ветродвигатель за счет их поворота от действия центробежного механизма, размещенного внутри лопасти

Регулирование горизонтально-осевого ветродвигателя пропуском ветрового потока мимо ветроколеса

Этот способ регулирования благодаря своей простоте нашел применение в ветроустановках малой мощности с многолопастными ветроколесами. При выводе ветроколеса из-под ветра, т. е. при косо́й обдувке (в англоязычной терминологии - «yaw control») через него проходит меньшее количество воздуха. Кроме того, из-за изменения угла атаки на лопасти уменьшается подъемная сила. Автоматический вывод ветроколеса из-под ветра осуществляется двумя способами: во-первых (рис. 4, а), с помощью боковой поверхности («лопаты») 4, расположенной непосредственно за ветроколесом на специальном кронштейне, жестко закрепленном на головке ветродвигателя; во-вторых (рис. 4, б), смещением оси

вращения ветроколеса на некоторое малое расстояние l от вертикальной оси поворота головки.

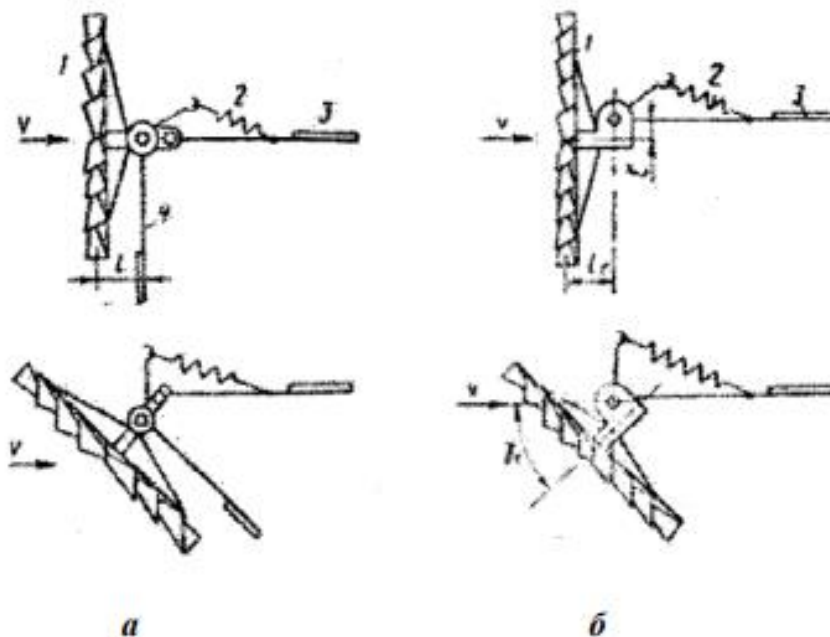


Рисунок 4 - Схема регулирования ветродвигателя выводом из-под ветра: а - при помощи боковой поверхности; б - за счет эксцентриситета; 1 - ветроколесо; 2 - пружина; 3 - флюгер; 4 - боковая поверхность

В первом случае (см. рис. 4, а) при увеличении скорости ветра выше расчетной возникающее на «лопате» усилие поворачивает ветроколесо на некоторый угол φ . Во втором случае (см. рис. 4, б) поворот ветроколеса происходит от действия на него осевого давления. В обоих случаях «хвост» 3 под действием ветрового потока находится в положении, параллельном направлению ветра, а пружина 2 растягивается, обеспечивая равновесное положение ветроколеса. Другой способ уменьшения массы воздуха, идущей через ветроколесо, состоит в том, что лопасти закреплены на вращающейся втулке шарнирно и имеют возможность поворачиваться под действием специального механизма навстречу ветру, занимая положение ог-в на рис. 1. В результате уменьшается площадь, сметаемая лопастью системой, и поглощаемая ветродвигателем ветровая мощность.

Регулирование вертикально-осевого ветродвигателя

Для регулирования вертикально-осевого ветродвигателя с Н-ротором Дарье (см. рис. 4, б) наиболее часто используется поворот лопасти вокруг ее

вертикальной оси. Механизм поворота может управляться центробежным регулятором, расположенным на основном вертикальном валу, или электрогидроприводом. Способ регулирования пропуском ветрового потока мимо лопастной системы ветродвигателя реализован в схеме с ротором Масгроува (см, рис. 4, в). В этом случае каждая пара полулопастей из вертикального положения может сложиться в горизонтальное положение. Введение дополнительного сопротивления на ветродвигателе может быть осуществлено при помощи различного вида тормозных закрылок, в том числе и поворотом всей задней части профиля лопасти. Другой метод аэродинамического торможения использует несимметричное крепление каждой лопасти с ротором в центральной ее части при помощи горизонтального торсиона (см. рис. 4, б). В случае увеличения частоты вращения выше номинальной лопасть под действием центробежных сил поворачивается вокруг горизонтальной оси торсиона и закручивает торсион, отклоняясь от своего вертикального положения. Наклонное положение лопасти (отклонение от вертикального положения) вызывает увеличение ее аэродинамического сопротивления

Преимущества ветрогенераторов:

1. Используется полностью возобновляемый источник энергии. В результате действия солнца, в атмосфере постоянно движутся воздушные потоки, для создания которых не требуется добывать, транспортировать, и сжигать никакое топливо. Источник принципиально неисчерпаем. Работа ветрогенератора мощностью 1 МВт за 20 лет позволяет сэкономить примерно 29 тыс. тонн угля или 92 тыс. баррелей нефти.

2. В процессе работы ветряной электростанции полностью отсутствуют вредные выбросы. Это значит, что отсутствуют как любые парниковые газы, так и какие бы то ни было отходы производства вообще. То есть технология экологически безопасна.

3. Ветряная станция не использует воду для своей работы.

4. Ветряная турбина и основные рабочие части таких генераторов расположены на значительной высоте над землей. Мачта, на которой установлена ветряная турбина, занимает небольшую площадь на земле, поэтому окружающее

пространство может быть с успехом использовано для хозяйственных нужд, там могут быть размещены различные здания и сооружения, например, для сельского хозяйства.

5. Применение ветрогенераторов особенно оправдано для изолированных территорий, куда обычными способами электроэнергию не доставить, и автономное обеспечение для таких территорий является, пожалуй, единственным выходом.

6. После введения в эксплуатацию ветряной электростанции, стоимость киловатт-часа генерируемой таким образом электроэнергии значительно снижается. Например, в США специально исследуют работу вновь установленных станций, оптимизируют эти системы, и таким образом удается снижать стоимость электроэнергии для потребителей до 20 раз от первоначальной стоимости.

7. Техническое обслуживание в процессе эксплуатации минимально.

Недостатки:

1. Зависимость от внешних условий в конкретный момент. Ветер может быть сильным, или его может не быть вообще. Для обеспечения непрерывной подачи электроэнергии потребителю в таких непостоянных условиях, необходима система хранения электроэнергии значительной емкости. Кроме этого, требуется инфраструктура для передачи этой энергии.

2. Сооружение ветровой установки требует материальных затрат. В некоторых случаях привлекаются инвестиции в масштабах регионов, что не всегда легко обеспечить. Именно стартовый этап, само возведение проекта является весьма дорогостоящим мероприятием. Упомянутая выше инфраструктура - немаловажная часть проекта, которая также стоит денег.

3. Некоторые эксперты считают, что ветряки искажают природный ландшафт, что их вид нарушает естественную природную эстетику. Поэтому крупным фирмам приходится прибегать к помощи профессионалов по дизайну и ландшафтной архитектуре.

4. Ветряные установки производят аэродинамический шум, который может причинить дискомфорт людям. По этой причине в некоторых странах Европы принят закон, по которому расстояние от ветряка до жилых домов не должно быть

меньше 300 метров, а уровень шума не должен превышать 45 дБ днем и 35 дБ ночью.

5. Есть небольшая вероятность столкновения птицы с лопастью ветряка, однако она настолько мала, что вряд ли нуждается в серьезном рассмотрении. А вот летучие мыши более уязвимы, поскольку строение их легких, в отличие от строения легких птиц, способствует получению смертельной баротравмы, при попадании млекопитающего в область пониженного давления около края лопасти.

Список литературы

1. Е.М. Фатеев. Ветро двигатели и ветроустановки. - М.: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, 1948. - 544 с
2. Ветроэнергетика света / Зеленая энергетика. – 2006. – №2 (22). – С19.
3. Возобновляемая энергия в России: от возможности к реальности. –М.: ОЭСР/МЭА, 2004.
4. Неисчерпаемая энергия: Учебник / Кривцов В.С., Олейников А.М. и др. – Харьков: Высшая школа, 2003. – 400 с.
5. Неисчерпаемая энергия: Учебник / Кривцов В.С., Олейников А.М. и др. – Харьков: Высшая школа, 2004. – 505 с.
6. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для сред. проф. образования / Л. Д. Рожкова, Л. К. Карнеева, Т. В. Чиркова. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 448с.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ (SMART GRID): СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Хайретдинов Айсар Котдусович

Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ «Казанский (Приволжский) федеральный университет» г.Набережные Челны

Аннотация. В статье рассматриваются ключевые аспекты интеллектуальных систем электроснабжения (Smart Grid), включая развитие микросетей с использованием возобновляемых источников энергии, применение искусственного интеллекта для оптимизации режимов работы электрических сетей и алгоритмы управления спросом (Demand Response). Анализируются преимущества внедрения Smart Grid, технические и экономические вызовы, а также перспективы дальнейшего развития.

Ключевые слова: Smart Grid, микросети, возобновляемые источники энергии, искусственный интеллект, Demand Response, оптимизация энергосистем.

SMART GRID SYSTEMS: MODERN TECHNOLOGIES AND DEVELOPMENT PROSPECTS

Aisar Kotdusovich Khairutdinov

*Naberezhnye Chelny Institute (branch) of the Kazan (Volga Region) Federal University,
Naberezhnye Chelny*

Abstract. This article examines key aspects of smart grid systems, including the development of microgrids using renewable energy sources, the use of artificial intelligence to optimize power grid operation, and demand response algorithms. The advantages of implementing a smart grid, the technical and economic challenges, and prospects for further development are analyzed.

Keywords: Smart Grid, microgrids, renewable energy sources, artificial intelligence, demand response, power system optimization.

1. Введение

Современные энергетические системы сталкиваются с вызовами, связанными с ростом энергопотребления, интеграцией возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и необходимостью повышения надежности электроснабжения. Интеллектуальные системы электроснабжения (Smart Grid) представляют собой инновационный подход к управлению энергосетями, основанный на цифровых технологиях, автоматизации и анализе данных. В данной статье рассматриваются три ключевых направления развития Smart Grid: микросети с ВИЭ, искусственный интеллект в управлении сетями и алгоритмы Demand Response.

2. Развитие микросетей (Microgrid) с использованием возобновляемых источников энергии

2.1. Концепция микросетей

Микросети – это локальные энергосистемы, способные работать как автономно, так и в составе централизованной сети. Они включают:

Распределенную генерацию (солнечные панели, ветрогенераторы, мини-ГЭС).

Накопители энергии (литий-ионные, проточные батареи, водородные системы).

Системы автоматического управления.

2.2. Преимущества микросетей с ВИЭ

Повышение надежности: возможность работы в островном режиме при авариях в основной сети.

Снижение потерь: минимизация передачи энергии на большие расстояния.

Экологичность: сокращение выбросов CO₂ за счет использования солнечной и ветровой энергии.

2.3. Проблемы и решения

Нестабильность генерации ВИЭ → применение гибридных систем с накопителями.

Сложность управления → внедрение адаптивных алгоритмов прогнозирования.

3. Применение искусственного интеллекта для оптимизации режимов работы электрических сетей

3.1. Основные задачи ИИ в Smart Grid

Прогнозирование нагрузки (нейросетевые модели, машинное обучение).

Обнаружение аномалий (анализ данных с IoT-датчиков).

Оптимизация потокораспределения (генетические алгоритмы, Q-обучение).

3.2. Примеры внедрения:

Google DeepMind – снижение энергопотерь в ЦОД на 40% с помощью ИИ.

Автоматизированные системы диагностики – предсказание износа оборудования.

3.3. Перспективы

Полная автономия сетей на основе глубокого обучения.

Интеграция с блокчейном для безопасного управления данными.

4. Алгоритмы управления спросом (Demand Response) в умных сетях

4.1. Суть Demand Response

Demand Response (DR) – это механизм, при котором потребители регулируют нагрузку в ответ на сигналы от энергосистемы (например, снижение потребления в часы пик).

4.2. Типы DR

Ценозависимое управление (динамические тарифы).

Автоматизированные системы (умные термостаты, промышленные DR-контроллеры).

4.3. Эффективность и примеры

Снижение пиковых нагрузок на 10-20%.

Внедрение в ЕС и США (PJM Interconnection, UK Demand Flexibility Service).

5. Заключение

Интеллектуальные системы электроснабжения (Smart Grid) открывают новые возможности для повышения эффективности, надежности и экологичности энергосистем. Развитие микросетей с ВИЭ, применение искусственного интеллекта и алгоритмов Demand Response позволяют создать устойчивую энергетическую инфраструктуру будущего. Дальнейшие исследования должны быть направлены на стандартизацию технологий, снижение стоимости внедрения и повышение кибербезопасности Smart Grid.

Список литературы

1. Веников В.А., Путятин Е.В. Управление режимами электроэнергетических систем. - М.: Энергоатомиздат, 2010.
2. Железко Ю.С., Артюхов В.В., Савченко А.А. Интеллектуальные электрические сети (Smart Grid). - СПб.: ПЭИПК, 2015.
3. Стерликов Б.М., Тульский В.Н. Микросети и распределённая генерация в энергосистемах. - М.: МЭИ, 2018.

ИНТЕГРАЦИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Хайретдинов Айсар Котдусович

*Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ «Казанский
(Приволжский) федеральный университет» г.Набережные Челны*

Аннотация: В статье рассматриваются ключевые аспекты интеграции возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в современные системы электроснабжения. Основное внимание уделено трем важнейшим направлениям: технологиям подключения солнечных и ветровых электростанций к распределительным сетям, проблемам балансировки мощности при высокой доле ВИЭ, а также перспективам развития гибридных систем с накопителями энергии. Проведен анализ технических решений и экономических аспектов внедрения ВИЭ, представлены рекомендации по повышению эффективности их интеграции в энергосистемы.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, солнечные электростанции, ветрогенерация, балансировка мощности, гибридные системы, накопители энергии.

INTEGRATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES INTO POWER SYSTEMS: CHALLENGES AND PROSPECTS

Aisar Kotdusovich Khairutdinov

*Naberezhnye Chelny Institute (branch) of the Kazan (Volga Region) Federal University,
Naberezhnye Chelny*

Abstract: This article examines key aspects of integrating renewable energy sources (RES) into modern power systems. It focuses on three key areas: technologies for connecting solar and wind power plants to distribution grids, power balancing issues with a high share of RES, and the prospects for developing hybrid systems with energy storage. An analysis of technical solutions and the economic

aspects of RES implementation is provided, and recommendations for improving the efficiency of their integration into power systems are presented.

Keywords: renewable energy sources, solar power plants, wind generation, power balancing, hybrid systems, energy storage.

1. Введение

Современная энергетика переживает период трансформации, связанный с активным внедрением возобновляемых источников энергии. Солнечные и ветровые электростанции становятся важным компонентом энергосистем, однако их интеграция сопряжена с рядом технических и организационных вызовов. Особую актуальность приобретают вопросы:

- оптимального подключения объектов ВИЭ к распределительным сетям
- обеспечения стабильности энергосистем при высокой доле

нестабильной генерации

- разработки эффективных гибридных систем с накопителями энергии

2. Интеграция солнечных и ветровых электростанций в распределительные сети

2.1. Особенности подключения объектов ВИЭ

Современные технологии подключения включают:

- Использование инверторных систем с функциями Smart Grid
- Применение устройств FACTS для стабилизации параметров сети
- Реализацию адаптивных алгоритмов управления генерацией

2.2. Технические требования к подключению:

- Соответствие стандартам качества электроэнергии (ГОСТ 32144-2013)
- Обеспечение устойчивости при авариях в сети
- Возможность дистанционного управления и мониторинга

2.3. Примеры успешной интеграции:

- Опыт Германии по подключению 40 ГВт солнечной генерации
- Проекты в России (Астраханская СЭС, Ульяновский ветропарк)

3. Проблемы балансировки мощности при высокой доле ВИЭ

3.1. Основные вызовы:

- Суточная и сезонная изменчивость генерации
- Ограниченная прогнозируемость выработки
- Необходимость резервирования мощности

3.2. Методы решения:

- Совершенствование систем прогнозирования (искусственный интеллект, нейросети)
- Развитие рынков системных услуг
- Оптимизация работы традиционных генерирующих мощностей

3.3. Экономические аспекты:

- Влияние на тарифообразование
- Затраты на резервные мощности
- Эффект «утиной кривой» в суточных графиках нагрузки

4. Гибридные системы электроснабжения с накопителями энергии

4.1. Архитектура гибридных систем:

- Комбинация ВИЭ, ДГУ и накопителей
- Микросетевые решения
- Виртуальные электростанции

4.2. Типы накопителей энергии:

- Литий-ионные аккумуляторы
- Проточные батареи
- Кинетические накопители
- Водородные системы

4.3. Примеры реализации:

- Проект «Солнечно-дизельная станция» в Якутии
- Гибридные системы Tesla в Австралии
- Пилотные проекты Роснано в России

5. Заключение

Интеграция ВИЭ в системы электроснабжения требует комплексного подхода, учитывающего как технические, так и экономические аспекты. Перспективными направлениями развития являются:

- Совершенствование технологий прогнозирования генерации
- Развитие интеллектуальных систем управления
- Создание гибких нормативных механизмов
- Внедрение экономически эффективных решений по накоплению

энергии

Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку адаптивных алгоритмов управления гибридными системами и оптимизацию их экономических показателей.

Список литературы

1. Министерство энергетики РФ. Стратегия развития электроэнергетики до 2035 года. Москва, 2020.
2. Кириллин В.А. Возобновляемая энергетика в современном мире. М.: МЭИ, 2019.
3. ГОСТ Р 58095.1-2018 «Интеллектуальные энергетические системы»
4. Официальный сайт ПАО «Россети»: <https://www.rosseti.ru>
5. Материалы конференции «Возобновляемая энергетика XXI века». СПб, 2022.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СОВРЕМЕННЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМАХ

Хайретдинов Айсар Котдусович

*Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ «Казанский
(Приволжский) федеральный университет» г.Набережные Челны*

Аннотация: В статье рассматриваются ключевые аспекты повышения надежности и качества электроэнергии в системах электроснабжения. Основное внимание уделено трем важнейшим направлениям: методам снижения потерь в электрических сетях, компенсации реактивной мощности в промышленных сетях, а также анализу и подавлению гармоник. Проведен анализ современных технических решений, представлены результаты практического внедрения различных методов улучшения параметров электроснабжения.

Ключевые слова: качество электроэнергии, потери мощности, реактивная мощность, компенсация реактивной мощности, гармоники, фильтры гармоник.

IMPROVING THE RELIABILITY AND QUALITY OF ELECTRIC POWER IN MODERN POWER SYSTEMS

Aisar Kotdusovich Khairutdinov

*Naberezhnye Chelny Institute (branch) of the Kazan (Volga Region) Federal University,
Naberezhnye Chelny*

Abstract: This article examines key aspects of improving the reliability and quality of electric power in power supply systems. It focuses on three key areas: methods for reducing losses in electrical networks, reactive power compensation in industrial networks, and harmonic analysis and suppression. An analysis of modern technical solutions is provided, and the results of the practical implementation of various methods for improving power supply parameters are presented.

Keywords: power quality, power losses, reactive power, reactive power compensation, harmonics, harmonic filters.

1. Введение

Современные энергосистемы сталкиваются с возрастающими требованиями к надежности и качеству электроэнергии. Особую актуальность приобретают вопросы:

- снижения технических и коммерческих потерь
- оптимизации режимов работы промышленных сетей
- обеспечения соответствия параметров электроэнергии стандартам

качества

2. Методы снижения потерь в электрических сетях

2.1. Классификация потерь электроэнергии:

- Технические потери (переменные и постоянные)
- Коммерческие потери

2.2. Основные методы снижения потерь:

- Оптимизация схемы и режимов работы сети
- Применение проводников с пониженным сопротивлением
- Использование регулируемых трансформаторов
- Внедрение систем компенсации реактивной мощности

2.3. Практические примеры:

- Опыт МРСК по снижению потерь
- Применение SMART-технологий для учета энергии

3. Компенсация реактивной мощности в промышленных сетях

3.1. Проблемы избыточной реактивной мощности:

- Дополнительные потери в сетях
- Снижение пропускной способности
- Ухудшение качества электроэнергии

3.2. Методы компенсации:

- Конденсаторные установки

- Синхронные компенсаторы
- Статические тиристорные компенсаторы (СТК)
- Управляемые шунтирующие реакторы

3.3. Примеры реализации:

- Системы компенсации на металлургических предприятиях
- Опыт применения СТК в нефтехимии

4. Анализ и подавление гармоник в системах электроснабжения

4.1. Источники гармоник:

- Нелинейные нагрузки (частотные приводы, дуговые печи)
- Преобразовательная техника
- Возобновляемые источники энергии

4.2. Методы анализа:

- Мониторинг качества электроэнергии
- Компьютерное моделирование
- Спектральный анализ

4.3. Способы подавления:

- Пассивные фильтры
- Активные фильтры гармоник
- Многоуровневые преобразователи
- Оптимизация схем включения нелинейных нагрузок

5. Заключение

Современные методы повышения надежности и качества электроэнергии позволяют существенно улучшить параметры работы энергосистем. Наиболее перспективными направлениями являются:

- Внедрение интеллектуальных систем мониторинга
- Развитие силовой электроники для компенсации
- Совершенствование нормативной базы
- Автоматизация процессов управления режимами

Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку адаптивных систем управления качеством электроэнергии и создание экономически эффективных решений для различных категорий потребителей.

Список литературы

1. ГОСТ 32144-2013 «Нормы качества электроэнергии»
2. Железко Ю.С. «Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии». М.: Энергоатомиздат, 2018
3. Министерство энергетики РФ. «Методика расчета потерь в электрических сетях». 2019
4. Материалы конференции «Энергосбережение и повышение энергоэффективности». М.: МЭИ, 2022
5. Официальный сайт ПАО «ФСК ЕЭС»: <https://www.fsk-ees.ru>

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЮ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ: ОПТИМИЗАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

Хайретдинов Айсар Котдусович

*Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ «Казанский
(Приволжский) федеральный университет» г.Набережные Челны*

Аннотация: В статье рассматриваются актуальные проблемы и перспективные решения в области электроснабжения промышленных предприятий. Основное внимание уделено трем ключевым аспектам: оптимизации схем электроснабжения крупных производственных комплексов, автоматизации систем релейной защиты и внедрению энергоэффективных технологий. Приведен анализ современных технических решений, рассмотрены практические примеры внедрения и даны рекомендации по повышению надежности и экономичности промышленных систем электроснабжения.

Ключевые слова: промышленное электроснабжение, оптимизация схем, релейная защита, автоматизация, энергоэффективность, SMART-технологии.

MODERN APPROACHES TO INDUSTRIAL POWER SUPPLY: OPTIMIZATION, AUTOMATION, AND ENERGY EFFICIENCY

Aisar Kotdusovich Khairutdinov

*Naberezhnye Chelny Institute (branch) of the Kazan (Volga Region) Federal University,
Naberezhnye Chelny*

Abstract: This article examines current issues and promising solutions in industrial power supply. It focuses on three key aspects: optimization of power supply circuits for large industrial complexes, automation of relay protection systems, and the implementation of energy-efficient technologies. It analyzes modern technical solutions, examines practical implementation examples, and provides

recommendations for improving the reliability and efficiency of industrial power supply systems.

Keywords: industrial power supply, circuit optimization, relay protection, automation, energy efficiency, SMART technologies.

1. Введение

Современные промышленные предприятия предъявляют повышенные требования к системам электроснабжения в условиях:

- роста энергоемкости производства
- ужесточения требований к надежности
- необходимости снижения энергозатрат
- цифровой трансформации энергетики

2. Оптимизация схем электроснабжения крупных производственных комплексов

2.1. Принципы проектирования оптимальных схем:

- Обеспечение необходимой категории надежности
- Минимизация капитальных и эксплуатационных затрат
- Учет перспектив развития предприятия

2.2. Современные подходы к оптимизации:

- Применение методов математического моделирования
- Использование специализированного ПО (ETAP, RastrWin)
- Реализация принципов модульности и масштабируемости

2.3. Практические примеры:

- Оптимизация схемы электроснабжения металлургического комбината
- Решение для нефтехимического комплекса с учетом взрывозащиты

3. Автоматизация систем релейной защиты в промышленных сетях

3.1. Эволюция систем релейной защиты:

- От электромеханических к микропроцессорным устройствам
- Внедрение цифровых технологий (IEC 61850)
- Интеграция с системами SCADA

3.2. Преимущества автоматизированных систем:

- Повышение быстродействия и селективности
- Возможность адаптации к изменяющимся условиям
- Упрощение диагностики и обслуживания

3.3. Кейсы внедрения:

- Система защиты двигателей высокого напряжения
- Комплексная защита распределительных сетей завода

4. Энергоэффективные технологии в системах электроснабжения заводов

4.1. Основные направления энергосбережения:

- Оптимизация режимов работы оборудования
- Внедрение частотно-регулируемых приводов
- Использование высокоэффективных трансформаторов

4.2. Инновационные решения:

- Системы рекуперации энергии
- Интеллектуальное освещение производственных площадей
- Микрогенерация на базе ВИЭ

4.3. Экономический эффект:

- Снижение энергопотребления на 15-25%
- Срок окупаемости мероприятий 3-5 лет
- Повышение конкурентоспособности продукции

5. Заключение

Современные тенденции развития промышленного электроснабжения включают:

- Цифровизацию всех процессов
- Внедрение интеллектуальных систем управления
- Оптимизацию энергопотребления
- Повышение экологичности

Перспективные направления исследований:

- Разработка адаптивных алгоритмов управления
- Создание цифровых двойников энергосистем

- Интеграция промышленных микросетей

Список литературы

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 7-е издание. М.: Энергосервис, 2020.
2. ГОСТ Р 50571.5.52-2011 «Электроустановки низковольтные»
3. Андреев В.П. «Релейная защита и автоматика систем электроснабжения». М.: Академия, 2019.
4. Материалы международной конференции «Энергетика промышленных предприятий». СПб, 2023.
5. Официальный сайт ПАО «Россети»: <https://www.rosseti.ru>

ЭЛЕКТРОМОБИЛЬНОСТЬ И РАЗВИТИЕ ЗАРЯДНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ: ВЫЗОВЫ И РЕШЕНИЯ ДЛЯ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Хайретдинов Айсар Котдусович

*Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ «Казанский
(Приволжский) федеральный университет» г.Набережные Челны*

Аннотация: Статья исследует комплекс вопросов, связанных с интеграцией электромобильного транспорта в современные энергосистемы. Основное внимание уделено трем ключевым аспектам: влиянию зарядной инфраструктуры на распределительные сети, технологии V2G (Vehicle-to-Grid) и методам оптимизации размещения зарядных станций в городской среде. Проведен анализ существующих проблем и предложены технические решения для устойчивого развития электромобильности.

Ключевые слова: электромобили, зарядная инфраструктура, V2G, распределительные сети, оптимизация размещения, умная зарядка.

ELECTROMOBILITY AND CHARGING INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT: CHALLENGES AND SOLUTIONS FOR POWER SYSTEMS

Aisar Kotdusovich Khairutdinov

*Naberezhnye Chelny Institute (branch) of the Kazan (Volga Region) Federal University,
Naberezhnye Chelny*

Abstract This article examines a range of issues related to the integration of electric vehicles into modern power systems. It focuses on three key aspects: the impact of charging infrastructure on distribution networks, vehicle-to-grid (V2G) technologies, and methods for optimizing the placement of charging stations in urban environments. An analysis of existing challenges is provided, and technical solutions for the sustainable development of electric mobility are proposed.

Keywords: electric vehicles, charging infrastructure, V2G, distribution networks, placement optimization, smart charging.

1. Введение

Быстрое развитие электромобильного транспорта ставит новые задачи перед энергетическим сектором:

- Прогнозируемый рост нагрузки на сети
- Необходимость развития инфраструктуры
- Возможность использования электромобилей как элемента энергосистемы

2. Влияние зарядных станций на нагрузку распределительных сетей

2.1. Характер нагрузки от зарядных станций:

- Мощность (от 3.7 кВт до 350 кВт)
- Неравномерность суточной нагрузки
- Пиковые нагрузки при одновременной зарядке

2.2. Проблемы для распределительных сетей:

- Перегрузка трансформаторов
- Снижение качества электроэнергии
- Увеличение потерь

2.3. Методы минимизации негативного влияния:

- Smart charging (интеллектуальная зарядка)
- Тарифное регулирование
- Локализованные накопители энергии

3. Технология V2G (Vehicle-to-Grid)

3.1. Принцип работы V2G:

- Двухнаправленная зарядка
- Участие в балансировке сети
- Предоставление системных услуг

3.2. Преимущества системы:

- Снижение пиковых нагрузок

- Повышение гибкости энергосистемы
- Дополнительный доход владельцев

3.3. Ограничения и проблемы:

- Сокращение срока службы АКБ
- Необходимость модернизации инфраструктуры
- Правовое регулирование

4. Оптимизация размещения зарядных станций в городах

4.1. Критерии оптимального размещения:

- Плотность транспортного потока
- Наличие точек интереса
- Мощность сетевой инфраструктуры

4.2. Методы оптимизации:

- ГИС-анализ
- Математическое моделирование
- Методы машинного обучения

4.3. Практические примеры:

- Опыт Лондона (планирование по данным GPS)
- Программа развития инфраструктуры в Москве

5. Заключение

Перспективы развития электромобильности требуют:

1. Комплексного подхода к проектированию инфраструктуры
2. Развития нормативной базы
3. Внедрения интеллектуальных систем управления

Наиболее актуальные направления исследований:

- Разработка стандартов V2G
- Создание цифровых моделей для оптимизации
- Исследование влияния на срок службы АКБ

Список литературы

1. International Energy Agency (2023). Global EV Outlook 2023.
2. ГОСТ Р 58095.4-2021 «Инфраструктура зарядная для электромобилей»

3. Kempton W., Tomic J. (2005). «Vehicle-to-grid power implementation» // Journal of Power Sources
4. Министерство транспорта РФ (2023). «Концепция развития электротранспорта»
5. Материалы конференции «Электромобильные и зарядные инфраструктуры». СПб, 2023.

Содержание

СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ	3
<i>Дрогайлова Людмила Николаевна, Башмаков Дмитрий Александрович, З</i>	
<i>Савицкий Сергей Константинович, Савицкая Наталья Николаевна,</i>	
<i>Петров Кирилл Николаевич</i>	
СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ	26
<i>Дрогайлова Людмила Николаевна, Башмаков Дмитрий Александрович,</i>	
<i>Савицкий Сергей Константинович, Савицкая Наталья Николаевна,</i>	
<i>Петров Кирилл Николаевич</i>	
СХЕМЫ ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ	40
<i>Дрогайлова Людмила Николаевна, Башмаков Дмитрий Александрович,</i>	
<i>Савицкий Сергей Константинович, Савицкая Наталья Николаевна,</i>	
<i>Петров Кирилл Николаевич</i>	
ТРЕБОВАНИЯ К ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЮ ТОРГОВОГО ЦЕНТРА.....	49
<i>Дрогайлова Людмила Николаевна, Башмаков Дмитрий Александрович,</i>	
<i>Савицкий Сергей Константинович, Савицкая Наталья Николаевна,</i>	
<i>Петров Кирилл Николаевич</i>	
ИСТОЧНИКИ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ.....	56
<i>Дрогайлова Людмила Николаевна, Башмаков Дмитрий Александрович,</i>	
<i>Савицкий Сергей Константинович, Савицкая Наталья Николаевна,</i>	
<i>Петров Кирилл Николаевич</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ ВЕТРОЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА	66
<i>Нуриев Ильсур Мухтарович, Башмаков Дмитрий Александрович,</i>	
<i>Савицкий Сергей Константинович, Савицкая Наталья Николаевна,</i>	
<i>Петров Кирилл Николаевич</i>	
РАЗЛИЧНЫЕ СПОСОБЫ ПЕРЕДАЧИ ВЕТРОВОЙ МОЩНОСТИ ПОТРЕБИТЕЛЮ ..	74
<i>Нуриев Ильсур Мухтарович, Башмаков Дмитрий Александрович,</i>	
<i>Савицкий Сергей Константинович, Савицкая Наталья Николаевна,</i>	
<i>Петров Кирилл Николаевич</i>	
ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЕТРОДВИГАТЕЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ	80
<i>Нуриев Ильсур Мухтарович, Башмаков Дмитрий Александрович,</i>	
<i>Савицкий Сергей Константинович, Савицкая Наталья Николаевна,</i>	
<i>Петров Кирилл Николаевич</i>	
СПОСОБЫ УВЕЛИЧЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВЕТРОДВИГАТЕЛЯ С АТМОСФЕРНЫМ ВОЗДУШНЫМ ПОТОКОМ.....	84
<i>Нуриев Ильсур Мухтарович, Башмаков Дмитрий Александрович,</i>	
<i>Савицкий Сергей Константинович, Савицкая Наталья Николаевна,</i>	
<i>Петров Кирилл Николаевич</i>	
СПОСОБЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ (УПРАВЛЕНИЯ) ВЕТРОДВИГАТЕЛЕЙ	90
<i>Нуриев Ильсур Мухтарович, Башмаков Дмитрий Александрович,</i>	
<i>Савицкий Сергей Константинович, Савицкая Наталья Николаевна,</i>	
<i>Петров Кирилл Николаевич</i>	
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ (SMART GRID): СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ	102
<i>Хайретдинов Айсар Котдусович</i>	

ИНТЕГРАЦИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ	106
<i>Хайретдинов Айсар Котдусович</i>	
ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СОВРЕМЕННЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМАХ.....	110
<i>Хайретдинов Айсар Котдусович</i>	
СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЮ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ: ОПТИМИЗАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ.....	114
<i>Хайретдинов Айсар Котдусович</i>	
ЭЛЕКТРОМОБИЛЬНОСТЬ И РАЗВИТИЕ ЗАРЯДНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ: ВЫЗОВЫ И РЕШЕНИЯ ДЛЯ ЭНЕРГОСИСТЕМ.....	118
<i>Хайретдинов Айсар Котдусович</i>	

Электронное научное издание

**Международная научно-практическая заочная конференция
«Диалог наук: единство знаний в эпоху перемен»,
посвященная 45-летию Набережночелнинского института КФУ**

Том 4

Набережные Челны, 19 мая 2025 г.

**Редактор
*Г.Ф. Таипова***

**Компьютерная верстка
*Д.О. Мещеряков***

Подписано к использованию 29.08.2025. Объем 10645 Кб

Уч.-изд. л. 4,484. Заказ № 1884

Отдел информации и связей с общественностью
Набережночелнинского института

Казанского (Приволжского) федерального университета

423810, г. Набережные Челны, Новый город, проспект Мира, 68/19 тел./факс (8552) 38-47-68
e-mail: ic-nchi-kpfu@mail.ru