

**ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

УДК 621.3.051.24:658.284

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ  
НА РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОСЕТИ КРУПНОГО ГОРОДА РОССИИ***П.Г. Иванов, К.Б. Корнеев**Тверской государственной технической университет (г. Тверь)*

© Иванов П.Г., Корнеев К.Б., 2023

**Аннотация.** В статье описаны результаты проведенных расчетов работы электросетей крупного города в различных схемах. Рассмотрены проблемы, которые могут возникнуть при отсутствии источников генерации внутри городской системы электроснабжения. Предложены варианты их решения. Рассчитаны возможные варианты развития событий для ведения режима в условиях нормальных и ремонтных схем, а также варианты наложения аварийных отключений на ремонты.

**Ключевые слова:** режим работы электросети, ремонтная схема, аварийное отключение, подстанция, противоаварийная автоматика.

**DOI: 10.46573/2658-7459-2023-4-45-50**

В энергосистемах баланс производства и потребления в любой момент времени достигается постоянным прогнозированием потребления и в соответствии с ним загрузкой электростанций операционной зоны, а также ведением режима диспетчером в условиях меняющейся схемы сети и аварийных отключений.

Энергоисточниками большинства крупных российских городов являются тепловые электростанции (ТЭС) или теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) [1], а также магистральные линии электропередач, обеспечивающие электроснабжение от энергоисточников, расположенных в области размещения города, а также в смежных областях. В качестве узла объединения энергосистемы России и схемы городского электроснабжения выступают одна или несколько узловых подстанций, подключенных на высоком напряжении 220–750 кВ.

Генерирующее и сетевое оборудование многих ТЭС и ТЭЦ уже достаточно долго находится в эксплуатации и выработало нормативный срок службы [2]. Оно физически и морально устарело и требует замены. При этом до настоящего времени эксплуатация оборудования осуществляется за счет регулярных аттестаций оборудования с продлением срока эксплуатации. Ниже будут описаны результаты расчетов установившихся режимов энергосистемы на типичной модели, построенной на основе анализа энергосистем нескольких областей европейской части России. Расчет выполнили с помощью специализированного программного комплекса. Было дано заключение о возможности полного или частичного вывода из эксплуатации генерирующего оборудования на существующих энергопредприятиях.

Рассмотрены следующие режимно-балансовые условия [3]:

режим осенне-зимних максимальных нагрузок (ОЗМ). Он характеризуется максимальным энергопотреблением для большинства типов нагрузки, что связано с увеличением использования систем освещения разных типов, а также (частично) отопительных электроагрегатов;

летний режим максимальных нагрузок. Такой режим для большинства электропотребителей характеризуется снижением потребления относительно осенне-зимнего максимума [4, 5]. Однако в ряде случаев для офисной нагрузки и некоторых промышленных предприятий, оборудованных системами кондиционирования и холодильного оборудования, могут наблюдаться нагрузки, возросшие относительно осенне-зимних.

Расчеты проводились для следующих температурных условий [6]:

зимний режим максимальных нагрузок при расчетной температуре для ОЗМ;

летний режим максимальных нагрузок для периода экстремально высоких температур (ПЭВТ);

летний режим максимальных нагрузок для периода при среднемесячной температуре (ПСМТ) в наиболее теплый месяц.

Расчеты проводились на моделях отдельных районов Единой энергетической системы России для ОЗМ, ПСМТ и ПЭВТ:

1) для сети напряжением 330 кВ:

нормальная схема;

аварийное отключение одного из трансформаторов (автотрансформаторов) на крупных питающих подстанциях;

схема планового ремонта одного автотрансформатора на крупной питающей подстанции;

схема планового ремонта одного автотрансформатора на крупной питающей подстанции и аварийное отключение второго автотрансформатора на ней же;

схема ремонта воздушной линии (ВЛ) высокого напряжения между питающей подстанцией и узловой городской подстанцией, сопровождающаяся аварийным отключением выключателя на питающей подстанции;

2) для городского кольца крупного города (выполнялись как для схемы нормального режима, так и для наиболее тяжелых схем, совмещающих плановые ремонты с аварийными отключениями):

аварийное отключение ВЛ городского кольца;

схема ремонта выключателя на подстанции городского кольца, непосредственно подключенной к узловой городской подстанции;

схема ремонта выключателя ВЛ между ТЭС и узловой подстанцией, сопровождающаяся аварийным отключением ВЛ от узловой подстанции в сторону, противоположную подключенной ТЭС;

схема двойного ремонта выключателя ВЛ городского кольца;

схема двойного ремонта выключателя ВЛ городского кольца с аварийным отключением ВЛ городского кольца.

В результате расчетов авторами были выявлены риски выхода параметров электроэнергетического режима из области допустимых значений в следующих случаях [3]:

**1. В схеме ремонта одного трансформатора и аварийном отключении второго трансформатора на узловой подстанции** до вывода из эксплуатации турбогенераторов на ТЭС (ТЭЦ) параметры режима находятся, как правило, в области допустимых значений, превышение аварийно допустимых токовых нагрузок (АДТН) отсутствует, напряжение остается выше аварийно допустимого.

После вывода из эксплуатации генерирующего оборудования на ТЭС (ТЭЦ) при выведенном в ремонт трансформаторе узловой подстанции превентивно должны проводиться следующие мероприятия:

включение батарей статических конденсаторов в смежных районах области (или в соседних областях);

изменение топологии сети путем отключения наиболее загруженных линий электропередачи со стороны узловой подстанции.

При двух отключенных трансформаторах на узловой подстанции параметры режима будут находиться вне области допустимых значений: окажутся перегружены оставшиеся в работе трансформаторы выше АДТН.

Выявленные риски подтверждаются значениями, полученными при расчете режимов в источнике [1]. При проведении дополнительных схемно-режимных мероприятий посредством изменения топологии сети и генерации больших центров питания параметры режима также могут находиться вне области допустимых значений. Потребуется ввод графиков аварийного ограничения режима потребления для возвращения параметров режима в область допустимых. Таким образом, для обеспечения допустимых параметров режима требуется установка автоматики ограничения перегрузки оборудования (АОПО), производящей отключение нагрузки потребителей. В настоящее время такие нагрузки могут быть достаточно значительными (до 25 % от установленной мощности энергосистемы города) и требуют согласования и выбора потребителей, для которых будет введен режим ограничения нагрузки (преимущественно третьей категории надежности).

## ***2. Аварийное отключение одной из ВЛ, которая питает город в схеме двойного ремонта ВЛ, или оборудования, входящих в состав городского кольца.***

После вывода из эксплуатации генерирующего оборудования на ТЭС (ТЭЦ) параметры режима, как правило, будут находиться вне области допустимых значений после проведения всех возможных схемно-режимных мероприятий [1]. Возникнет перегрузка оставшихся в сложившейся схеме работы ВЛ, отходящих от главного питающего центра города (узловой подстанции). В этой ситуации, чтобы обеспечить допустимые параметры режима в период летнего максимума ПСМТ, для ремонтов по городскому кольцу требуется установка АОПО в объеме, сопоставимом с рассмотренным в варианте 1.

По результатам проведенных расчетов можно сделать вывод о значительном влиянии генерации городских ТЭС (ТЭЦ) на режимы работы электросети крупного города и невозможности выполнения ремонтов оборудования из-за рисков аварийных отключений, которые повлекут за собой выход параметров из области допустимых значений при отсутствии источников генерации внутри городского кольца [3].

Для приведения режимных параметров в область допустимых значений в рассмотренных схемно-режимных и балансовых условиях без превентивного ввода графиков аварийного ограничения режима потребления необходима реализация новой противоаварийной автоматики, а именно проектирование и установка устройств автоматического ограничения перегрузки оборудования и автоматического ограничения снижения напряжения на узловых подстанциях, действующих по каналам передачи аварийных сигналов и команд на отключение нагрузки потребителей в городе и, возможно, смежных энергорайонах. В рассматриваемых районах могут отсутствовать крупные потребители, и для организации управляющих воздействий на отключение нагрузки необходимо создание большого числа каналов передачи управляющих

воздействий. При срабатывании противоаварийной автоматики такие потребители могут быть отключены на весь период до устранения причин срабатывания автоматики, что может привести к нарушениям технологических процессов на предприятиях, недоотпуску продукции, браку и значительным экономическим потерям.

Так как необходимая новая противоаварийная автоматика должна иметь сложную функциональную структуру и действовать на большой объем нагрузки, авторами предлагается также рассмотреть замещающие мероприятия, связанные с реконструкцией объектов электроэнергетики и сетевым строительством [1]:

строительство новых резервных узловых подстанций на напряжении 220 или 330 кВ на стороне городского кольца, противоположной уже установленной городской узловой подстанции, и линий электропередач соответствующего класса напряжения к этой подстанции от имеющегося центра питания. Дополнительно строительство такой подстанции будет способствовать как повышению надежности электроснабжения бытовых потребителей в активно застраиваемых зонах города, так и обеспечению качественного и надежного электроснабжения уже сложившихся городских зон. В дальнейшем (например, при строительстве высокоскоростных железнодорожных магистралей [8, 9]) возможно совмещение таких подстанций с планируемыми для ввода тяговыми подстанциями, что благотворно скажется на обеспечении надежности электроснабжения данного участка электрифицированной железной дороги;

установку на узловых подстанциях дополнительных трансформаторов (автотрансформаторов). Как правило, узловые подстанции обладают резервом площади для установки дополнительного оборудования. Однако это может потребовать строительства дополнительной линии от узла питания, внешнего к городскому кольцу, что может быть затруднительно в плане обеспечения габаритов прохождения этой линии параллельно уже построенным линиям;

замену проводов городского кольца проводами с большей пропускной способностью [9] типа АСВП, АСВТ российских компаний.

Таким образом, проекты модернизации систем теплоснабжения крупных городов европейской части России, которые предусматривают поэтапный вывод из эксплуатации городских ТЭС и ТЭЦ, а также строительство замещающих объектов (котельных), могут столкнуться с определенными сложностями, связанными с необходимостью также обеспечить и значительное замещение электрических мощностей региона [10].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об утверждении схемы и программы развития электроэнергетических систем России на 2023–2028 годы: приказ Минэнерго России от 28.02.2023 № 108. URL: <https://minenergo.gov.ru/system/download-pdf/24125/204377> (дата обращения: 04.11.2023).
2. Показатель технического состояния объектов электроэнергетики (физический износ). URL: <https://minenergo.gov.ru/node/22444> (дата обращения: 04.11.2023).
3. Об утверждении Правил вывода объектов электроэнергетики в ремонт и из эксплуатации, а также о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросу совершенствования порядка вывода объектов электроэнергетики в ремонт и из эксплуатации: постановление Правительства РФ от 30.01.2021 № 86 (с изменениями и дополнениями).
4. РД 34.20.185-94 Инструкция по проектированию городских электрических сетей. М.: Энергоатомиздат. 1995. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004921> (дата обращения: 30.10.2023).

5. Корнеев К.Б., Павлова Ю.М., Осеи-Овусу Р. Алгоритмические модели управления электрической нагрузкой в системах электроснабжения // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2022. № 3 (15). С. 40–50.
6. Расчеты допустимых перетоков мощности в энергосистемах / С.А. Ерошенко [и др.]. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та. 2017. 86 с.
7. Высокоскоростные магистрали. Земельно-имущественный комплекс. URL: <http://www.hsrail.ru/Projects-vsm/ZIO/> (дата обращения: 04.11.2023).
8. О единой технической политике в электросетевом комплексе: положение ПАО «Россети» (новая редакция). Приложение 1 к решению Совета директоров ПАО «Россети» (протокол заседания от 02.04.2021 № 450). URL: [https://rosseti-lenenergo.ru/upload/\\_about/tehnikeskay\\_politika/Положение%20о%20ЕТП.pdf](https://rosseti-lenenergo.ru/upload/_about/tehnikeskay_politika/Положение%20о%20ЕТП.pdf) (дата обращения: 04.11.2023).
9. СТО 56947007-29.060.50.268-2019 Указания по проектированию ВЛ 220 кВ и выше с неизолированными проводами нового поколения. URL: <https://www.rosseti.ru/upload/iblock/db2/ekwjram0zzcmam5zmpo71wserqm65f07.pdf> (дата обращения: 04.11.2023).
10. СТО 59012820.27.010.002-2020 Правила перехода на работу в вынужденном режиме (с изменениями на 07.07.2023). URL: [https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/laws/standards/standard\\_forced\\_2023.pdf](https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/laws/standards/standard_forced_2023.pdf) (дата обращения: 04.11.2023).

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

*ИВАНОВ Павел Геннадьевич* – магистрант, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: Paveliv83@mail.ru

*КОРНЕЕВ Константин Борисович* – кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения и электротехники, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: Energy-tver@mail.ru

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Иванов П.Г., Корнеев К.Б. Анализ влияния генераторов тепловых электростанций на режимы работы электросети крупного города России // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2023, № 4 (20). С. 45–50.

---

### ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF GENERATORS OF THERMAL POWER PLANTS ON THE OPERATING MODES OF THE POWER GRID OF A LARGE RUSSIAN CITY

*P.G. Ivanov, K.B. Korneev*  
*Tver State Technical University (Tver)*

**Abstract.** The article describes the results of calculations of the operation of power grids of a large city in different schemes. The problems that may arise in the absence of generation sources within the city power supply system are considered. The variants of their solution are offered. Possible variants of development of events for conducting the regime under normal and repair schemes, as well as variants of imposing emergency shutdowns on repairs are calculated.

**Keywords:** power grid operation mode, repair scheme, emergency shutdown, substation, emergency automation.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*IVANOV Pavel Gennadievich* – Master’s Student, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: Paveliv83@mail.ru

*KORNEEV Konstantin Borisovich* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Power Supply and Electrical Engineering, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: Energy-tver@mail.ru

#### CITATION FOR AN ARTICLE

Ivanov P.G., Korneev K.B. Analysis of the influence of generators of thermal power plants on the operating modes of the power grid of a large Russian city // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2023. No. 4 (20), pp. 45–50.

УДК 674.093

### ВЛИЯНИЕ МЕТЕОФАКТОРОВ НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ОСАДКОВ, ВЫПАВШИХ В ТВЕРИ В 2016–2022 ГГ.

*Ф.В. Качановский*

*Тверской государственный технический университет (г. Тверь)*

© Качановский Ф.В., 2023

**Аннотация.** Выполнен статистический анализ влияния метеофакторов на удельную электропроводность атмосферных осадков, выпавших в Твери в 2016–2022 годах. Подтверждено и уточнено существование корреляционных связей удельной электропроводности осадков, выпадающих в Твери, с показателем кислотности  $pH$ , температурой воздуха и количеством осадков при удлинении ряда наблюдений на два года (с пяти лет до семи).

**Ключевые слова:** удельная электропроводность, кислотность, атмосферные осадки, модель, временной ряд, тренд, циклическая компонента, сезонная компонента, случайная компонента, показатель кислотности  $pH$ .

**DOI: 10.46573/2658-7459-2023-4-50-58**

Электропроводность атмосферных осадков, являясь одним из индикаторов антропогенного воздействия на водную среду, представляет научный и практический интерес. Публикации об электропроводности достаточно многочисленны и разнообразны [1–7].

В Твери наблюдения за метеофакторами, в том числе и за электропроводностью атмосферных осадков, проводит лаборатория мониторинга окружающей среды Тверского центра по гидрометеорологии. Наблюдения за электропроводностью осадков данная