

**В.В.Жуков**

# **ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С ГАЗОТУРБИННЫМИ И ПАРОГАЗОВЫМИ УСТАНОВКАМИ**

---

**учебное пособие для вузов**

*Допущено УМО вузов России по образованию  
в области энергетики и электротехники  
в качестве учебного пособия для студентов  
высших учебных заведений, обучающихся  
по направлению подготовки  
"Электроэнергетика и электротехника"*

**2-е издание, исправленное**

**Москва  
Издательский дом МЭИ  
2021**

# ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                         |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Предисловие.....                                                                                        | 8          |
| Аббревиатуры и сокращения, принятые в книге .....                                                       | 14         |
| <b>Глава первая. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ГАЗОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ .....</b>                                       | <b>17</b>  |
| 1.1. Тепловые схемы и конструктивные особенности ГТУ .....                                              | 17         |
| 1.2. Устройство основных элементов ГТУ .....                                                            | 23         |
| 1.3. Применение авиационных и судовых газотурбинных двигателей<br>при создании энергетических ГТУ ..... | 36         |
| 1.4. Компоновка ГТУ и главного корпуса газотурбинной электростанции .....                               | 38         |
| 1.5. Газотурбинные теплоэлектроцентрали .....                                                           | 41         |
| 1.6. Преимущества, недостатки и области применения ГТУ .....                                            | 43         |
| Контрольные вопросы .....                                                                               | 45         |
| <b>Глава вторая. ПАРОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ .....</b>                                         | <b>47</b>  |
| 2.1. Парогазовые энергетические технологии и устройство ПГУ .....                                       | 47         |
| 2.2. Классификация ПГУ, их типы и характеристики .....                                                  | 51         |
| 2.3. Устройство горизонтального котла-утилизатора .....                                                 | 59         |
| 2.4. Классификация тепловых схем парогазовых теплоэлектроцентралей с КУ .....                           | 61         |
| 2.5. Преимущества, недостатки и области применения ПГУ .....                                            | 65         |
| Контрольные вопросы .....                                                                               | 69         |
| <b>Глава третья. ГЕНЕРАТОРЫ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ .....</b>                                                    | <b>70</b>  |
| 3.1. Общие определения и конструкции синхронных генераторов .....                                       | 70         |
| 3.2. Типы турбогенераторов по мощностям и способам охлаждения .....                                     | 76         |
| 3.3. Системы возбуждения генераторов .....                                                              | 84         |
| 3.4. Система контроля и защиты синхронных генераторов .....                                             | 96         |
| 3.5. Характеристики генераторов, работающих на автономную сеть .....                                    | 99         |
| 3.6. Режимы работы турбогенераторов .....                                                               | 101        |
| 3.7. Асинхронизированные турбогенераторы энергоблоков ПГУ .....                                         | 113        |
| 3.8. Техническая политика развития генераторов .....                                                    | 119        |
| Контрольные вопросы .....                                                                               | 121        |
| <b>Глава четвертая. ТРАНСФОРМАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ .....</b>                                             | <b>123</b> |
| 4.1. Общие определения .....                                                                            | 123        |
| 4.2. Конструкция силового трансформатора .....                                                          | 130        |
| 4.3. Изоляция в трансформаторах .....                                                                   | 133        |
| 4.4. Системы охлаждения и обозначения типа трансформатора .....                                         | 135        |
| 4.5. Режим нейтралей трансформаторов .....                                                              | 139        |
| 4.6. Регулирование напряжения .....                                                                     | 141        |
| 4.7. Тепловые режимы трансформаторов и их нагрузочная способность .....                                 | 143        |
| 4.8. Диагностика технического состояния силовых трансформаторов .....                                   | 144        |
| 4.9. Измерительные трансформаторы тока и напряжения .....                                               | 146        |
| 4.10. Современное состояние, тенденции развития силовых и измерительных<br>трансформаторов .....        | 159        |
| Контрольные вопросы .....                                                                               | 162        |
| <b>Глава пятая. КОММУТАЦИОННЫЕ И ЗАЩИТНЫЕ АППАРАТЫ .....</b>                                            | <b>163</b> |
| 5.1. Назначение и классификация аппаратов .....                                                         | 163        |
| 5.2. Условия работы аппаратов высокого напряжения и общие требования,<br>предъявляемые к ним .....      | 166        |
| 5.3. Выключатели высокого напряжения .....                                                              | 168        |

|                                                                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.4. Комплектные РУ с вакуумными и элегазовыми выключателями .....                                                          | 192 |
| 5.5. Генераторные выключатели .....                                                                                         | 215 |
| 5.6. Разъединители, отделители, короткозамыкатели, выключатели нагрузки,<br>плавкие предохранители .....                    | 229 |
| 5.7. Защитные и токоограничивающие аппараты .....                                                                           | 238 |
| 5.8. Современный уровень разработок и перспективы развития коммутационных<br>аппаратов в мире .....                         | 241 |
| 5.9. Выбор коммутационных электрических аппаратов .....                                                                     | 244 |
| Контрольные вопросы .....                                                                                                   | 251 |
| <b>Глава шестая. СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ<br/>НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ</b> .....                                             | 252 |
| 6.1. Общие сведения .....                                                                                                   | 252 |
| 6.2. Основные требования, предъявляемые к схемам распределительных<br>устройств электроустановок .....                      | 254 |
| 6.3. Классификация схем распределительных устройств .....                                                                   | 256 |
| 6.4. Схемы, применяемые на генераторном напряжении .....                                                                    | 260 |
| 6.5. Схемы, применяемые на высшем и среднем напряжениях .....                                                               | 263 |
| 6.6. Типовая сетка схем распределительных устройств .....                                                                   | 265 |
| 6.7. Структурные схемы электрических станций с ГТУ и ПГУ .....                                                              | 270 |
| 6.8. Примеры исполнения электрических схем электростанций с ПГУ и ГТУ .....                                                 | 274 |
| Контрольные вопросы .....                                                                                                   | 279 |
| <b>Глава седьмая. СОБСТВЕННЫЕ НУЖДЫ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ<br/>С ГТУ И ПГУ</b> .....                                                | 281 |
| 7.1. Источники энергоснабжения собственных нужд .....                                                                       | 281 |
| 7.2. Системы собственных нужд ГТУ .....                                                                                     | 285 |
| 7.3. Электропривод механизмов собственных нужд .....                                                                        | 287 |
| 7.4. Характеристики механизмов собственных нужд .....                                                                       | 289 |
| 7.5. Выбор электродвигателей для привода механизмов собственных нужд .....                                                  | 292 |
| 7.6. Состав потребителей собственных нужд энергоблоков ПГУ .....                                                            | 295 |
| 7.7. Электрические схемы системы собственных нужд .....                                                                     | 298 |
| 7.8. Самозапуск электродвигателей собственных нужд .....                                                                    | 302 |
| Контрольные вопросы .....                                                                                                   | 306 |
| <b>Глава восьмая. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОГРАНИЧЕНИЯ ТОКОВ<br/>КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ</b> .....                                     | 307 |
| 8.1. Постановка задачи .....                                                                                                | 307 |
| 8.2. Классификация методов и средств ограничения токов короткого замыкания .....                                            | 308 |
| 8.3. Ограничение токов короткого замыкания в сетях высокого напряжения .....                                                | 310 |
| 8.4. Токоограничивающие устройства .....                                                                                    | 318 |
| 8.5. Токоограничивающие устройства со сверхпроводниками .....                                                               | 327 |
| 8.6. Токоограничивающие реакторы .....                                                                                      | 333 |
| 8.7. Трансформаторы и автотрансформаторы с расщепленной обмоткой<br>низшего напряжения, разделительные трансформаторы ..... | 338 |
| 8.8. Ограничение токов короткого замыкания на землю .....                                                                   | 340 |
| 8.9. Выбор методов и средств ограничения токов короткого замыкания<br>в электрических сетях .....                           | 343 |
| 8.10. Примеры ограничения токов КЗ .....                                                                                    | 349 |
| Контрольные вопросы .....                                                                                                   | 354 |

|                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Глава девятая. УПРАВЛЕНИЕ, КОНТРОЛЬ И СИГНАЛИЗАЦИЯ НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ</b> .....                                              | 356 |
| 9.1. Принципы управления на электростанциях .....                                                                               | 356 |
| 9.2. Автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП) энергоблока ПГУ-420 .....                       | 364 |
| 9.3. Дистанционное управление на постоянном оперативном токе.....                                                               | 370 |
| 9.4. Сигнализация и контроль на электростанциях.....                                                                            | 383 |
| 9.5. Автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учета электроэнергии (АИСКУЭ) на электростанциях..... | 391 |
| Контрольные вопросы .....                                                                                                       | 395 |
| <b>Глава десятая. СПОСОБЫ ПУСКА ГТУ И СХЕМЫ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ПУСКОВЫХ УСТРОЙСТВ</b> .....                                            | 396 |
| 10.1. Общие положения .....                                                                                                     | 396 |
| 10.2. Технологические особенности пуска и останова ГТУ.....                                                                     | 399 |
| 10.3. Основные требования к пусковым устройствам ГТУ.....                                                                       | 405 |
| 10.4. Преобразователи частоты для тиристорных пусковых устройств.....                                                           | 407 |
| 10.5. Принцип действия синхронной машины с тиристорным коммутатором в цепи статора.....                                         | 412 |
| 10.6. Анализ режима пуска ГТУ большой мощности.....                                                                             | 415 |
| 10.7. Схемы подключения пусковых устройств.....                                                                                 | 424 |
| 10.8. Способы пуска ГТУ малой мощности .....                                                                                    | 432 |
| Контрольные вопросы .....                                                                                                       | 439 |
| <b>Глава одиннадцатая. СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ЖИВУЧЕСТИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С ГТУ И ПГУ</b> .....                          | 441 |
| Введение .....                                                                                                                  | 441 |
| 11.1. Аварийные электростанции для пуска энергоблока ПГУ .....                                                                  | 443 |
| 11.2. Пуск асинхронных двигателей с.н. энергоблока ПГУ от аварийной дизельной электростанции.....                               | 446 |
| 11.3. Автоматическое выделение энергоблока ПГУ для питания собственных нужд при аварии в энергосистеме.....                     | 457 |
| 11.4. Реализация режима АВСН на блоках ПГУ электростанций различной конфигурации .....                                          | 467 |
| Контрольные вопросы .....                                                                                                       | 470 |
| <b>Глава двенадцатая. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С ГТУ И ПГУ</b> .....                   | 471 |
| Введение .....                                                                                                                  | 471 |
| 12.1. Разработка главной схемы электрических соединений электростанций .....                                                    | 472 |
| 12.2. Выбор схем выдачи мощности электростанций с ГТУ и ПГУ .....                                                               | 476 |
| 12.3. Схемы распределительных устройств 35—750 кВ .....                                                                         | 478 |
| 12.4. Выбор турбогенераторов ГТУ и ПГУ .....                                                                                    | 482 |
| 12.5. Схемы подключения тиристорных пусковых устройств.....                                                                     | 484 |
| 12.6. Схемы электрических соединений и источники питания собственных нужд .....                                                 | 485 |
| 12.7. Управление, электрическая автоматика и оперативный ток.....                                                               | 499 |
| 12.8. Распределительные устройства и вспомогательные сооружения.....                                                            | 507 |
| 12.9. Средства внешней и внутриобъектной связи и телемеханики.....                                                              | 512 |
| Контрольные вопросы .....                                                                                                       | 513 |
| <b>Список литературы</b> .....                                                                                                  | 515 |
| <b>Послесловие Генерального директора ОАО «ОЭК» А.В. Майорова</b> .....                                                         | 517 |